Handbuch für physikalische Schülerübungen

Hermann Hahn

Springer

Handbuch

für

Physikalische Schülerübungen

Handbuch

für

Physikalische Schülerübungen

Von

Hermann Hahn

Professor am Dorotheenstädtischen Realgymnasium
und Leiter der praktischen Kurse für physikalische Schülerübungen
in der Alten Urania zu Berlin

Mit 340 in den Text gedruckten Figuren

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1909

ISBN 978-3-662-35756-9 ISBN 978-3-662-36586-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-36586-1
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1909

Herrn

Provinzialschulrat Geheimen Regierungsrat

Dr. Otto Vogel

in dankbarer Verehrung gewidmet.

Vorrede.

Das Buch wendet sich an Physiklehrer, die befähigt sind, Schülerübungen zu leiten. Es sucht daher Leser besondrer Art: Lehrer mit reichem Wissen und von tüchtigem Können, vor deren Geist das leuchtende Bild eines vollkommenen physikalischen Unterrichts schwebt, tatkräftige Männer, die fest an die Verbeßrungsfähigkeit der Lehrverfahren glauben und mit eisernem Willen in unermüdlicher Arbeit danach streben, ihren Unterricht so vortrefflich zu gestalten, wie es die eigne Kraft, die äußern Widerstände und die Klugheit der Zeitgenossen gestatten. Das Buch will den Physiklehrern deutscher Zunge helfen, mit den amerikanischen, englischen und französischen Berufsgenossen in gleicher Front zu arbeiten und in edlem Wettstreit mit ihnen um die Palme des besten Unterrichts zu ringen.

Das Buch ist den Bedürfnissen der jungen Lehrer angepaßt, denen das Einleben in das neue Lehrverfahren und das Einrichten der Übungen eine schwere Arbeitslast aufbürdet. Von dem Wirken dieser jugendfrischen Kräfte hängt die Zukunft unsers Faches ab. Vergeudet man ihre Schaffenskraft in unnützen Wiederholungen bereits erledigter Aufgaben, so hemmt man das rüstige Fortschreiten unsrer Lehrverfahren. Ich war daher eifrig bemüht, durch Vorarbeiten meinen jungen Berufsgenossen überall ein weises Haushalten mit ihren Kräften zu ermöglichen, so daß sie mit voller Wucht die neue Unterrichtsweise rasch fördern können.

Das Buch enthält die wichtigsten und brauchbarsten messenden Übungen, die ich am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen in der Alten Urania habe ausführen lassen. Ich habe nur wenige qualitative Übungen aufgenommen, ohne jedoch hierdurch ausdrücken zu wollen, daß ich solche „Vorübungen“ für überflüssig halte. Durch diesen Ausschluß wurden freilich die Versuche über die Eigenschaften der Flüssigkeiten und der Gase und über den Magnetismus stark vermindert und die Übungen über die Reibungselektrizität ganz unterdrückt. Trotzdem enthält das Buch viel mehr Aufgaben, als man selbst an der besteingerichteten Oberrealschule behandeln kann. Dieser Überschuß an Übungen und das häufige Nebeneinanderstellen der verschiednen anwendbaren Verfahren geben dem Leiter der Übungen eine willkommene Bewegungsfreiheit.

Der Inhalt des Buches ist zwar scharf, doch nicht starr gegliedert. Auf den Wortlaut der Aufgabe folgt die Angabe, wieviel Schüler zur Ausführung der Versuche mindestens erforderlich sind, und welche Zeit sie dazu brauchen. An den Hinweis auf die Literatur reihen sich die Aufzählung der erforderlichen Geräte, die Anleitung, wie die Versuche auszuführen sind, und daran Bemerkungen über die Geräte und die Verfahren.

Der Inhalt und die Anlage des Buches sind nur dem ganz verständlich, der meine Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*“ und die Ausführungen über die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und über die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse in der Alten Urania auf S. 466 dieses Buches gelesen hat.

Der Stoff der Versuche ist dem allbekannten gesicherten Wissensbestand der Physik entnommen und bietet nirgends etwas wesentlich Neues. Dagegen erfordern die Übungen oft neue Geräte und Versuchsverfahren. Beim Entwerfen der Übungen habe ich stets alle Vorarbeiten benutzt, die mir zur Zeit des Gerätebaues und der Versuchsgestaltung vorlagen. Da ich ursprünglich die Übungen ohne die Absicht ausgearbeitet habe, sie später zu veröffentlichen, so fehlen zumeist auf meinen Vorbereitungszetteln für die ältern Versuche die Literaturnachweise, doch habe ich, soweit dies ohne zu großen Zeitaufwand möglich war, vor dem Druck die Quellen nachträglich hinzugefügt, die einen wesentlichen Teil des Gerätes oder des Versuchs entscheidend beeinflußt haben. Viele wertvolle Verbeßrungen verdanke ich auch den Teilnehmern an meinen Kursen und meinen Schülern. Da ich die Vorarbeiten vollkommen frei benutzt habe, so trage ich für alle Abändrungen die volle Verantwortung. Nur bei ganz wenigen Versuchen, deren jetzige Ausführungsart noch nicht völlig befriedigt, will die Quellenangabe dem Gewährsmann die Verantwortung zuweisen.

An der Spitze jeder Aufgabe steht ein übersichtliches Verzeichnis der erforderlichen Geräte, damit der Leiter die Übung schnell, sicher und bequem vorbereiten kann. Die einzelnen Geräte habe ich in den Bemerkungen am Ende jeder Aufgabe und in dem Abschnitt „Allgemeines über galvanische Arbeiten“ (S. 328) ausführlich beschrieben. Die Abbildungen beruhen auf Maßzeichnungen oder photographischen Aufnahmen der von mir benutzten Geräte (vgl. S. 471). Diese genauen Angaben sollen den Leser in den Stand setzen, erfolgreich an der weitern Verbeßrung der Geräte mitzuarbeiten. In den Bemerkungen ist zuweilen angegeben, daß sich dieses Gerät oder jener Versuch nicht bewährt hat. Diese Ablehnung ist, insofern als andre Urheber in Betracht kommen, so zu begrenzen: Ich kann nur behaupten, daß das Gerät und der Versuch, wie ich sie ausgeführt habe, nicht tadellos sind. Trotzdem können das Gerät und der Versuch tatsächlich brauchbar sein, nur sind sie dann in der angegebnen Quelle nicht so vollständig beschrieben, daß ihre Nachbildung oder Wiederholung sicher gelingt.

Bei der Benutzung der Anleitungen ist zu beachten, daß ich in einigen Anweisungen mehr Versuche aufgenommen habe, als in der angegebnen Zeit ausführbar sind. Der Leiter wird dies, selbst bei geringer Erfahrung, leicht von vornherein oder schon am Anfang der Übung bemerken und die Anzahl der Versuchswiederholungen stark kürzen, einige Abschnitte weglassen oder in geeigneten Fällen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwenden. Zu diesem Zweck habe ich die Anleitungen in einzelne scharf getrennte Abschnitte gegliedert, die durch Buchstaben bezeichnet sind. Diese Einrichtung erlaubte mir, zuweilen kleine Nebenuntersuchungen einzuschalten oder tiefer in die Aufgabe einzudringen und so dieselbe Übung für verschiedne Klassen verwendbar zu machen. Mit den erforderlichen Kürzungen und bei Beschränkung auf die Hauptversuche lassen sich nach meinen Erfahrungen alle Übungen in der angegebnen Zeit ausführen.

Bei den Übungen kommt es durchaus nicht darauf an, daß die Schüler so gute Ergebnisse erzielen, wie die Gelehrten in den Instituten der Universitäten. Auf den Schulen sind vielmehr die Wege einzuschlagen, die möglichst einfach und gerade zum Ziel führen, mögen sie auch weniger leistungsfähig sein, als die Verfahren, die man jetzt mit Recht in der Wissenschaft und in der Technik anwendet. Wohl aber soll man von den Schülern verlangen, daß sie sich ernsthaft bemühen, die besten Ergebnisse zu erhalten, die mit ihren einfachen und rohen Geräten auf dem benutzten Weg erreichbar sind. Ebenso wie man im Rechenunterricht anfangs die einzelnen Rechnungen in unverkürzter Form ausführen läßt, um zunächst eine ausreichende Fertigkeit zu erzielen, und erst dann, wenn die Sicherheit in der Form erreicht ist, zu Abkürzungen und Feinheiten übergeht, so soll man auch bei den physikalischen Übungen zunächst alle Messungen so genau ausführen lassen, wie es die benutzten Geräte gestatten, und erst dann, wenn die erforderliche Geschicklichkeit und ein ausreichendes Verständnis erworben sind, die einzelnen Messungen so einrichten, daß ihre Fehler alle annähernd gleich stark das Ergebnis beeinflussen.

Die Wörter, die in den Anleitungen *kursiv gedruckt* sind, weisen darauf hin, daß hier der Leiter in die Übungen eingreifen soll, um Fachausdrücke mitzuteilen oder Erklärungen zu geben. Hierbei soll sich der Lehrer ganz kurz fassen und den richtigen Augenblick benutzen, damit er nicht die Versuche der Schüler hemmt oder gar stört. Die sorgfältige Fassung der Begriffe und Gesetze sollen Schüler und Lehrer erst nach der Übung in gemeinsamer Arbeit feststellen.

Ich hebe ausdrücklich hervor, daß für meine Schüler die Anleitungen nicht bindende Vorschläge sind; jeder Schüler darf andre Wege einschlagen. Er hat es mir nur vorher zu melden, damit ich prüfen kann, ob nicht bei dem beabsichtigten Verfahren etwa die Geräte beschädigt oder der Schüler und seine Kameraden gefährdet werden. Beim Arbeiten in gleicher Front beeinträchtigt ein falsches Ergebnis einer einzelnen Arbeitsgruppe nicht die Lösung der gestellten Aufgabe; ich verhindere es daher nicht, wenn einzelne Schüler selbst Verfahren wählen, deren Mißerfolg ich voraussehe.

Der Anhang bringt zunächst einen Überblick über die Entwicklung der physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium. Wer die Ergebnisse dieses Versuchsfeldes für das neue Lehrverfahren unbefangen prüft, wird kaum wünschen, daß die jungen Physiklehrer auch heute noch immer wieder da beginnen, wo Schwalbe 1892 eingesetzt hat. Er müßte denn dabei vollständig übersehen, daß die Lehrer der Physik am Dorotheenstädtischen Realgymnasium nicht eigensinnig, selbstgefällig und urteilslos 16 Jahre lang mit ihren ursprünglichen Verfahren fortgearbeitet haben, sondern pflichtgemäß bemüht gewesen sind, die Erfahrungen der Physiklehrer aller Kulturvölker auch für ihre Schüler fruchtbar zu machen, soweit dies die äußern Verhältnisse zuließen, die sie aus eigner Kraft nicht ändern konnten.

Die Bemerkungen über den Betrieb der Schülerübungen, die die Arbeitsordnung, die allgemeinen Ratschläge, die graphischen Darstellungen, das Zahlenrechnen und die Übungsberichte behandeln, ergänzen die Ausführungen in meiner oben erwähnten Abhandlung über die praktische Gestaltung der Übungen.

Das allgemeine Geräteverzeichnis auf S. 483 dürfte jungen Physiklehrern die Beschaffung einer brauchbaren Ausrüstung bedeutend erleichtern.

Das Bücherverzeichnis enthält die in Buchform erschienenen Schriften, die bei der Einrichtung und Leitung der Übungen und bei der Werbung von Anhängern für dieses wichtige Unterrichtsverfahren nützlich sind. Der Umfang und der Inhalt dieses Verzeichnisses dürften selbst den engherzigsten und dünkelhaftesten Vertreter unsrer Unübertrefflichkeit darüber aufklären, daß die Zeiten vorbei sind, wo sich ein preußischer Lehrer mit Recht darauf beschränken durfte, nur das einheimische Schulwesen zu studieren. Jeder deutsche Lehrer der Mathematik und Naturwissenschaften, der pflichtgemäß wünscht, daß wir auch in Zukunft unsre hohe wissenschaftliche und wirtschaftliche Stellung auf der Welt behaupten, muß heutzutage wissen, was und wie man in den Schulen der andern Kulturnationen unterrichtet, damit er alle fremden Meister seines Faches übertreffen kann. Die Verkehrsmittel der Neuzeit haben den Wirkungsbereich der Menschen vergrößert und dadurch gleichsam den Erdball verkleinert, so daß heute die geistigen und wirtschaftlichen Beziehungen zwischen Berlin und New York stärker sind als vor hundert Jahren die zwischen Berlin und Köln. Wer dies erkannt hat, wundert sich gar nicht, daß zurzeit der mathematische Lehrplan der Hohenzollernschule zu Schöneberg den Lehrern in den Vereinigten Staaten wohl besser bekannt ist als vielen Lehrern zu Berlin.

Erst nach langem Sträuben habe ich dieses Buch schon jetzt geschrieben. Viele hervorragende Schulmänner des In- und Auslandes haben sich die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in der Alten Urania angesehen und zahlreiche eifrige Fachgenossen an mich Anfragen gerichtet, deren nutzbringende Beantwortung jedesmal einen Brief vom Umfang dieses Buches erfordert hätte. Einsichtige Freunde sagten mir, daß ich die Ausarbeitungen, die ich für meine Schüler und die Teilnehmer an meinen Kursen gemacht hatte, veröffentlichen müßte. Ich hatte mancherlei Bedenken: meine Aufzeichnungen waren nicht druckreif und hatten einige empfindliche Lücken. Sollte ich noch mehr Arbeit auf eine Sache verwenden, deren innerer und bleibender Wert vielleicht doch zweifelhaft war? Jeder Neuerer muß für seine Sache begeistert sein und an seinen Erfolg glauben. Es fällt ihm daher schwer, die eignen Leistungen richtig zu bewerten und sich dadurch vor Selbsttäuschungen und Enttäuschungen zu bewahren. Überschätzte ich nicht den Wert und die Zukunft der Übungen und unterschätzte ich nicht die vorhandnen und vielleicht wachsenden Hindernisse?

Vergleicht man die Schülergeräte des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums und der Alten Urania mit den physikalischen Apparaten Goethes im Goethe-Nationalmuseum, so überrascht die Ähnlichkeit dieser Sammlungen, die doch ganz unabhängig voneinander entstanden sind. Sollten Versuche und Vorrichtungen, denen verwandt, die der große Meister harmonischer Lebensführung benutzt hat, wirklich ungeeignete Mittel zur Erreichung der echten humanistischen Ziele des Jugendunterrichts sein?

Sollte der lebhafte Anklang, den die Schülerübungen bei allen Kulturnationen gefunden haben, nicht eine tiefere Ursache haben? Sieht man über die Grenzen des physikalischen Unterrichts hinaus, so erkennt man überall innerlich verwandte Bestrebungen. Die physikalischen Schülerübungen sind nur eins der vielen Anzeichen für eine tiefgehende Umgestaltung unsres geistigen Lebens. Dem Menschen des zwanzigsten Jahrhunderts genügt nicht mehr die reine Erkenntnis, überall wächst der Wille zur Tat. Wir wollen, gestützt auf die Erkenntnis, handeln; wir wollen gestaltend in die Außenwelt eingreifen. Solche geistigen Bewegungen kann man nicht hemmen. Kein Volk und keine Macht auf Erden kann sich ihrer Allgewalt auf die Dauer widersetzen. Von diesem höhern Standpunkt aus erkennt man, daß die Übungen eine unentbehrliche Vorbereitung für den wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Wettbewerb der Kulturnationen und für jeden Staat ein Gebot der Fürsorge für die Leistungsfähigkeit der einheimischen Bevölkerung sind.

Sobald ich dies deutlich erkannt hatte, war es für mich eine Pflicht, durch Herausgabe dieses Buches dabei mitzuhelfen, daß sich die Übungen so rasch wie möglich an unsern Schulen einbürgern; denn Eile tut hier dringend not. Ich hatte das große Glück, überall bei meinen vorgesetzten Behörden einsichtige und wohlwollende Förderung zu finden. Ich erbat und erhielt von dem Magistrat zu Berlin Urlaub von Ostern 1907 bis Ostern 1908, so daß ich mich ein Jahr ganz der Abfassung dieses Buches widmen konnte. Für diese außerordentliche Unterstützung, die erst das rasche Erscheinen dieses Buches ermöglicht hat, danke ich dem Magistrat und ganz besonders Herrn Stadtschulrat Dr. Michaelis, der mit scharfem Blick den hohen Wert der Schülerübungen klar erkannt hat, auch an dieser Stelle auf das wärmste.

Zu innigem Dank bin ich Herrn Provinzial-Schulrat und Geheimen Regierungsrat Dr. Otto Vogel verpflichtet, einem Mann, dessen hervorragende Verdienste um die Schülerübungen die Gegenwart infolge seiner großen Bescheidenheit und Zurückhaltung noch nicht voll würdigt, und den ohne Zweifel später einmal die Nachwelt als einen der bedeutendsten Förderer des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Preußen feiern wird. Ohne seine andauernde tatkräftige Fürsorge hätte ich den größten Teil der Arbeiten, die in diesem Buch zusammengefaßt sind, nicht ausführen können. Durch meine Ansprüche und Ausgaben habe ich ihm leider oft viele Sorgen und Verlegenheiten bereiten müssen, immer wieder aber half er in seiner Herzensgüte und in seinem unermüdlichen Eifer für die Sache mit Rat und Tat über alle Schwierigkeiten hinweg. Es ist mir eine wahre Herzensfreude, ihm diese erste größere Veröffentlichung, die aus den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen hervorgeht, widmen zu dürfen und so einen geringen Teil des großen Dankes abzutragen, den wir, ich und sehr viele andre Lehrer der Naturwissenschaften, ihm schulden.

Mein lieber Freund und Kollege Hans Matthée hat mich bei der Herausgabe auch dieses Buches unermüdlich und selbstlos unterstützt. Ich danke ihm dafür herzlichst, ebenso meinem Mitarbeiter F. A. Hintze, der mir bei dem Bau und der genauen Beschreibung der Geräte wertvolle Hilfe geleistet hat.

Der Verleger hat keine Kosten und Mühen gescheut, um das Buch in der vollkommensten Weise auszustatten, und alles getan, um den Benutzern das Arbeiten damit so bequem wie möglich zu machen. Alle Leser und auch ich schulden ihm dafür den verbindlichsten Dank.

Die Verlagsbuchhandlung beabsichtigt im Anschluß an dieses Handbuch einen Leitfaden für den Gebrauch der Schüler herauszugeben, sobald sich dafür ein Bedürfnis bemerkbar machen wird.

Sollte das gedruckte Buch meinen Berufsgenossen ebenso große Dienste leisten wie mir früher die geschriebnen Vorbereitungszettel, die seine Unterlage bilden, so werde ich nicht bereuen, dieses vielleicht noch unreife Sorgenkind, den Träger vieler Liebe, Arbeit und Freude, in die Welt hinausgeschickt zu haben.

Grunewald, am Niclasabend 1908.

Hermann Hahn

Inhaltsverzeichnis.

Seohster Teil.

Schall.

(7 Aufg.)

Siebenter Teil.

Wärme.

(19 Aufg.)

Achter Teil.

Licht.

(25 Aufg.)

Neunter Teil.

Magnetismus.

(9 Aufg.)

Zehnter Teil.

Galvanismus.

(53 Aufg.)

Anhang.

Berichtigungen.

S. 80. Aufg. 17. Die Hinweise beziehen sich auf Aufg. **16** und nicht auf Aufg. 15.

S. 83. Aufg. 19 c. Lies Aufg. **16** statt Aufg. 15.

S. 133. Aufg. 1 b, c. Man verwendet am bequemsten zwei nebeneinander gestellte Rinnen gleicher Neigung.

S. 389. Aufg. 17 d. Lies Aufg. **16** statt Aufg. 17.

S. 399. Aufg. 22 a. Die Schale ist mit einer konzentrierten Cuprisulfatlösung (vgl. S. 362) zu füllen.

S. 500. Ostwald, Wilhelm. Erfinder und Entdecker. Die Gesellschaft. 24. Bd. Frankfurt a. M., Rütten & Loening, o. J. (1908).

Erster Teil.

Maß und Messen.

I. Raum und Gestalt.

1. Aufgabe. *Wie groß ist der Raum des vorgelegten Holzstabes von rechteckigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Nadeln.
Paraffinierter Holzklotz (5 cm $\times$ 4 cm $\times$ 2,5 cm).
Meterstab.

Anleitung. a) Stich mit einer Nadel zwei feine Löcher in ein Blatt deines Heftes, lege den Maßstab mit der Teilung nach oben längs der Geraden, die durch die Stiche bestimmt wird, drehe das Ganze so, daß der Maßstab gut beleuchtet wird, und miß den Abstand der beiden Löcher in Zentimeter unter Abschätzung der Zehntelmillimeter.

b) Stelle den Maßstab auf die hohe Kante, so daß die Teilung senkrecht steht und die unteren Enden der Teilstriche auf das Papier stoßen, und miß nochmals den Abstand der beiden Stiche in Zentimeter unter Abschätzung der Zehntelmillimeter. Stimmen die Ergebnisse beider Messungen genau überein? Wie groß dürfte die Abweichung höchstens sein? Welche Messung ist genauer? *Parallaxe.*

c) Schreibe die Nummer auf, womit dein Holzklotz bezeichnet ist, und ebenso die Nummer deines Maßstabes.

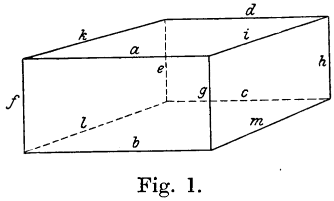

Fig. 1.

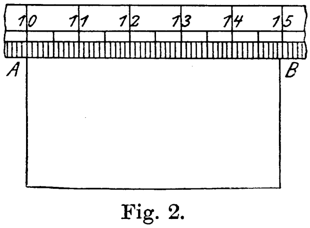

Fig. 2.

d) Bezeichne, wenn es noch nicht geschehen ist, die Kanten des Körpers wie in der Fig. 1 mit Buchstaben.

e) Lege den Maßstab so an die Kante *a* des Holzklotzes, daß die geteilte Kante des Maßstabes mit dem zu messenden Rande zusammenfällt und der Teilstrich 10 genau über der Ecke *A* (Fig. 2) liegt, und lies ab, welcher Millimeterstrich zwischen *A* und *B* am nächsten bei *B* liegt. Schätze ab, wieviel Zehntel eines Millimeters man noch zu der abgelesenen Länge hinzufügen muß, damit die Strecke des Maßstabes möglichst genau mit der Strecke AB übereinstimmt. Bei der Schätzung der Zehntel ist der Raum zwischen den Mitten der Teilstriche und nicht der Raum zwischen den benachbarten Rändern der Striche in Zehntel zu teilen. Vernachlässige beim sorgfältigen Schätzen der Zehntelmillimeter nicht das richtige Ablesen der Zentimeter und Millimeter. Schreibe die Länge von a in Zentimeter, Millimeter und Zehntelmillimeter mit der Benennung cm und unter Setzung des Dezimalkomma auf.

f) Bringe einen andern Teilstrich (z. B. 50) mit A zur Deckung, miß wiederum die Länge von a und schreibe auch sie auf.

g) Laß einen dritten Teilstrich, sagen wir 30, mit A zusammenfallen, miß zum drittenmal die Länge a und schreibe sie ebenfalls auf.

h) Nimm aus den drei gemessenen Werten von a das Mittel. Dieses sieht man als die wahrscheinlichste Länge von a an. Welche Stelle nach dem Komma ist bei jeder einzelnen Messung infolge der Schätzung nicht ganz genau? Wieviel Stellen darf man daher bei der Bildung des Mittels nur beibehalten?

i) Miß ebenso die Längen der Kanten b, c und d, die zu a parallel sind. Nimm das Hauptmittel aus den Mittelwerten von a, b, c und d; es liefert die wahrscheinlichste Länge L des Holzklotzes.

k) Ermittele ebenso durch Messung von e, f, g und h die Höhe H des Holzklotzes und durch Messung von i, k, l und m seine Breite B.

l) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

. . . . klotz Nr. . . . Maßstab Nr. . . .

Messung	a cm	b cm	c cm	d cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel $L = \ldots.$ [cm].

Messung	e cm	f cm	g cm	h cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel $H = \ldots.$ [cm].

Messung	i cm	k cm	l cm	m cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel $B = \ldots.$ [cm].

m) Berechne aus den so gefundenen Werten von L, B und H den Raum des Holzklotzes

$$V = L \cdot B \cdot H \, [\mathrm{cm}^3].$$

Welche Stellen von L, B und H sind mit einem, wenn auch kleinen Fehler behaftet? Auf wieviel Stellen ist also die Maßzahl von V genau, und wieviel Stellen darf man mithin nur beibehalten? *Abgekürzte Multiplikation.*

n) Zeichne den Grundriß, den Aufriß und den Seitenriß des Holzklotzes und trage die Maße ein.

Bemerkungen. Der Maßstab ist aus Ahornholz, 1 m lang und in Millimeter geteilt. Der Holzklotz ist mit sehr heißem Paraffin durchtränkt und dessen Überschuß nach dem Erkalten weggeschabt. Man kann auch Stäbe aus Hartgummi, Marmor, Glas oder Aluminium verwenden, doch muß sich ihre Masse noch mit der Wage bestimmen lassen.

Man erläutere durch eine Zeichnung eingehend den aus der Parallaxe stammenden Fehler. Sind die Ecken des Klotzes bereits stark beschädigt, so lasse man den Maßstab wie in Fig. 3 anlegen. Man achte darauf, daß die Schüler keine Striche oder sonstigen Marken auf die Maßstäbe machen.

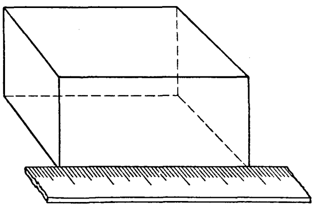

Fig. 3.

Diese Übung erfordert die gewissenhafteste Überwachung. Der Lehrer überzeuge sich, daß jeder Schüler den Maßstab richtig handhabt und auch das hinschreibt, was er abgelesen hat. Der mathematische Unterricht hat dem Geist des Schülers das Ideal eines Parallelepipedons fest eingeprägt. Er sucht dieses geistige Bild in die Wirklichkeit zu übertragen und hält es durchaus für richtig, nicht das aufzuschreiben, was er gemessen hat, sondern das, was er nach seinen mathematischen Kenntnissen hätte finden müssen. Hier soll der Lehrer den Schüler zur unbedingten Unterwerfung unter die Tatsachen der Wirklichkeit erziehen. Er weise auf den Unterschied hin zwischen dem idealen Körper, den er beim Tischler bestellt hat, und der groben Verwirklichung, die dieser geliefert hat. Oberflächliche Schüler sind anfangs mit Freuden bereit, aus der Fehlerhaftigkeit jeder physikalischen Messung eine Berechtigung zu liederlichem Rechnen abzuleiten; sie vernachlässigen die Zehntelmillimeter und sogar die ganzen Millimeter. Man halte streng darauf, daß die Schüler so scharf rechnen, wie dies bei der erreichten Genauigkeit der Messung vernünftig ist. Man benutze auch im physikalischen Unterricht jede Gelegenheit, die Schüler im abgekürzten Rechnen zu üben. Sie sind uns später dafür recht dankbar.

2. Aufgabe. *Wie sind die Rechenstäbe eingerichtet und wie benutzt man sie?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. ABRAHAM *1, 57 Nr. 10.* CREW-TATNALL *31 Nr. 15.* JOHN PERRY, *Practical Mathematics*[1] *9 Nr. 14.*

Geräte.

Millimeterpapier.	Reißnägel.
Schere.	Spitzer harter Bleistift.
Rechenstab aus Karton.	Dreieck.

Anleitung. **a)** Wie groß ist das Produkt 4,93 $\times$ 2,51? Es ist

log 4,93	0,6928
log 2,51	0,3997
log 4,93 $\times$ 2,51	1,0925

$$4{,}93 \times 2{,}51 = 12{,}373.$$

Bei diesem Verfahren ist das Vervielfachen auf das Zusammenzählen zurückgeführt; dies aber läßt sich mechanisch auf viele Weisen ausführen. Man könnte erst 6928 Bohnen in einen Sack legen, dann

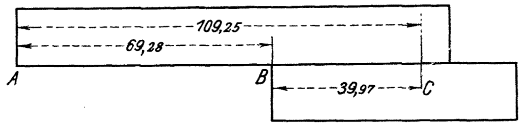

Fig. 4.

noch 3997 Bohnen hinzufügen und nun das Ganze zählen. Schlauer wäre es schon, auf eine Wageschale 6,928 gr und dann noch 3,997 gr zu legen und das Ganze zu wägen. Noch besser ist es, auf einem Streifen Millimeterpapier (Fig. 4) am unteren Rande $AB = 69{,}28$ cm und auf

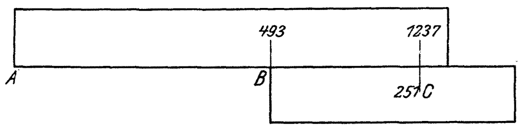

Fig. 5.

einem andern Streifen am oberen Rande $BC = 39{,}97$ cm abzutragen und beide Streifen so aneinander zu fügen, daß man die Summe 109,25 cm ablesen kann. Ähnlich ist der Rechenstab eingerichtet, nur ist die Bezifferung eine andere. Hier sind an den Enden der

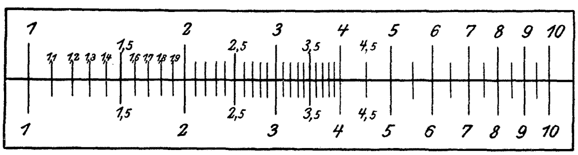

Fig. 6.

Strecken, die die Mantissen der Logarithmen darstellen, anstatt der Vielfachen der Mantissen die Vielfachen ihrer Numeri geschrieben. Ein Rechenstab trägt also nicht die in Fig. 4, sondern die in Fig. 5 abgebildete Bezifferung.

b) Schneide aus Millimeterpapier zwei Streifen, die $\sim$ 12 cm lang und 2 cm breit sind. Hefte sie mit Reißzwecken dicht nebeneinander, so daß ihre Teilstriche genau zusammenfallen (Fig. 6). Stelle mit Hilfe der Logarithmentafel folgende Tabelle auf:

N	$\log N$	$\nu = 10 \log N$ in cm
1,1	0,0414	0,41
1,2	0,0792	0,79
1,3	0,1139	1,14
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1,9	0,2788	2,79
2,0	0,3010	3,01
2,5	0,3979	3,98
3,0	0,4771	4,77
.	.	.
.	.	.
.	.	.
9,0	0,9542	9,54
9,5	0,9777	9,78
10,0	1,0000	10,00

Ziehe an den linken Enden der beiden Streifen den Teilstrich 1, trage von da nach rechts $\nu = 0{,}41$ [cm] ab und schreibe $N = 1{,}1$ an den neuen Strich. Trage ebenso die übrigen Werte von ν auf und beziffere sie in der gleichen Weise.

c) Der Rechenstab (Fig. 7) hat auf dem festen Rahmen (dem Stabe) und auf dem beweglichen Schieber solche Teilungen und

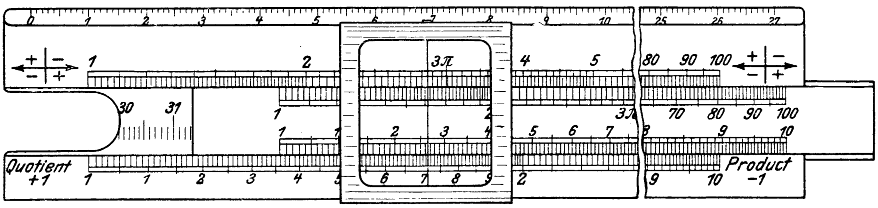

Fig. 7.

ist außerdem mit einem verschiebbaren Läufer versehen, dessen Marke zur Einstellung beliebiger Zahlen auf der Stabteilung dient.

d) Wir wollen zunächst nur mit der oberen Teilung von Stab und Schieber arbeiten. Stelle den Schieber so, daß die Striche der Teilungen von Stab und Schieber zusammenfallen. Die Teilstriche stellen die Logarithmen N dar. Stelle den Schieber so, daß der Strich 1 des Schiebers dem Teilstrich 2 des Stabes genau gegenüber steht. Welche Teilstriche des Stabes fallen mit den Teilstrichen 2, 3, 5 usw. des Schiebers zusammen? Welches Vielfache der Schieberzahlen sind die Stabzahlen?

Laß den Strich 1 des Schiebers mit dem Teilstrich 3 des Stabes zusammenfallen. Wie verhalten sich alle Zahlen auf dem Stabe zu den entsprechenden Zahlen auf dem Schieber?

Will man das Produkt $a \cdot b$ berechnen, so stellt man den Strich 1 des Schiebers auf den Teilstrich a des Stabes ein und sucht auf dem Schieber den Teilstrich b auf. Der Teilstrich des Stabes, der diesem Teilstrich gegenüber liegt, ist das gesuchte Produkt. Berechne mit dem Rechenstab 4×3, 17×3 usw.

e) Wieviel ist $5 \times 4 \times 2$? Stelle den Strich 1 des Schiebers gegenüber dem Strich 4 auf dem Stabe. Schiebe den Läufer so, daß seine Marke über dem Strich 5 auf dem Schieber liegt. Schiebe nun den Strich 1 des Schiebers unter die Marke des Läufers und lies auf dem Stabe die Zahl ab, die der Zahl 2 auf dem Schieber gegenüber liegt.

f) Teile 12 durch 3. Stelle die Zahl 3 des Schiebers gegenüber von 12 auf dem Stabe. Die Zahl des Stabes, die dem Strich 1 des Schiebers gegenüberliegt, ist der gesuchte Quotient. Berechne $1:7$.

g) Bestimme die Produkte 8×7; $24 \times 2{,}5$; $5{,}1 \times 3{,}95$; $4{,}93 \times 2{,}51$; $4{,}95 \times 3{,}05 \times 2{,}49$. Beachte dabei, daß die Abstände zwischen den Teilstrichen in den verschiedenen Gebieten der Teilung verschieden groß sind.

h) Wird das Produkt $a \cdot b$ größer als 100, so bringt man den Strich 100 des Schiebers gegenüber dem Strich a des Stabes; dann steht dem Strich b des Schiebers auf dem Stabe der hundertste Teil des Produktes $a \cdot b$ gegenüber. Berechne 65×6; $41{,}7:2{,}93$.

i) Berechne $18 \times 7:4$. Teile erst durch 4, lies den Quotienten nicht ab, sondern markiere ihn mit dem Läufer und multipliziere mit 7. Berechne ohne Ablesen der Teilergebnisse $28{,}4 \times 3{,}1:17{,}5$ und $(91 \times 12{,}5):(13{,}4 \times 5{,}8)$.

k) Die Striche der unteren Teilungen des Stabes und des Schiebers haben vom Strich 1 nicht den Abstand ν sondern $2\,\nu$. Die Einstellung des Läuferstrichs oder eines Endstrichs des Schiebers auf eine Zahl der unteren Teilung ergibt mithin oben das Quadrat der Zahl. Man kann also mit dem Läufer die Quadrate und Quadratwurzeln der Zahlen finden. Da man mit dem Rechenstab eine Zahl mit ihrem Quadrat bequem multiplizieren kann, so ist es leicht, die dritte Potenz einer Zahl und durch das umgekehrte Verfahren die Kubikwurzel einer Zahl zu finden.

Bemerkungen. Recht brauchbare, 26 cm lange Rechenschieber aus Karton kann man von Gebr. Wichmann, Berlin NW. 6, Karlstr. 13, zum Preis von 1,70 M. beziehen, ebenso Gebrauchsanweisungen von Prof. A. Göring für 0,25 M. Die Schüler halten oft den Gebrauch von Rechenschiebern, Multiplikationstafeln und anderen Hilfsmitteln zum raschen und bequemen Rechnen für unerlaubt. Man muß bei den Schülerübungen, die viel geisttötendes mechanisches Rechnen verlangen, die Kräfte seiner Schüler weise schonen und sie daher ermuntern, sich bei der Ausführung ihrer Rechnungen aller erreichbaren Hilfsmittel zu bedienen, die geeignet sind, Zeit und Arbeit zu sparen.

3. Aufgabe. *Wie groß ist der Raum des vorgelegten Stabes von kreisförmigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

1. Verfahren.

Geräte. Zylinder von 1,5 cm Durchmesser und 4 cm Länge aus Eisen, Kupfer, Messing, Aluminium, Hartgummi oder Glas. | Stecknadel. Meterstab. Dünnes Papier. Schere.

Anleitung. **a)** Lege um die Mitte des Zylinders einen Streifen dünnes Papier einmal fest herum und stich mit der Nadel durch den Streifen, da wo seine Enden übereinanderliegen. Wickele das Papier ab, umringele die beiden Stiche und miß ihren Abstand u in Zentimeter unter Schätzung der Zehntelmillimeter. Wem ist dieser Abstand gleich?

b) Durchstreiche die beiden Marken auf dem Papier, wickele den Streifen einmal oben und einmal unten um den Zylinder und miß jedesmal den Umfang. Nimm das Mittel aus allen Messungen.

c) Bezeichnen u cm den Umfang und r cm den Halbmesser des Zylinders, so ist $u = 2\pi r$ und mithin

$$r = \frac{u}{2\pi} \text{ [cm]}.$$

Berechne aus dem Mittelwert von u den Halbmesser r.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . zylinder Nr. . . .

	Umfang u cm	Höhe h cm
Summe	. . . .	. . . .
Mittel	. . . .	. . . .

$r = \dots$ [cm]. $V = \dots$ [cm^3].

e) Lege den Zylinder auf oder an die Teilung des Maßstabes und miß seine Höhe h in Zentimeter unter Schätzung der Zehntelmillimeter. Drehe den Zylinder um seine Achse und miß an zwei anderen Stellen seines Mantels die Höhe. Nimm das Mittel aus den drei Messungen.

f) Zeichne den Aufriß und Grundriß des Zylinders und trage die Längen von Durchmesser und Höhe ein.

g) Berechne aus dem Halbmesser r cm und der Höhe h cm den Raum des Zylinders

$$V = \pi r^2 h \text{ [cm}^3\text{]}.$$

2. Verfahren.

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch statt des Papiers und der Nadel Garn oder dünner Draht.

Anleitung. **h)** Mache an einem Ende des Garns einen Knoten, wickele den Faden etwa dreißigmal in dicht nebeneinander liegenden Windungen um den Zylinder und schneide ihn an der Stelle durch, die mit dem Knoten auf derselben Geraden liegt. Miß mit dem Maßstab die Länge des Fadens. Wiederhole die Messung noch zweimal und nimm aus den drei Bestimmungen das Mittel.

i) Ist N die Anzahl der Windungen, r cm der Halbmesser des Zylinders und l cm der Mittelwert aus den gemessenen Fadenlängen, so ist $l = 2\pi N r$ und mithin

$$r = \frac{l}{2\pi N} \text{ [cm]}.$$

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . zylinder Nr. . . .

Anzahl der Windungen N	Fadenlänge l cm	Halbmesser des Zylinders $r = \frac{l}{2\pi N}$ [cm]	Höhe des Zylinders h cm
	Summe	. . . .	. . . . . .
	Mittel	. . . .	. . . . . .

$$V = \ldots \text{ [cm}^3\text{]}.$$

l) Verfahre wie bei (f) und (g).

3. Verfahren.

Geräte. Zylinder wie beim 1. Verfahren. Maßstab. | 2 Holzklötze, bei denen drei zusammenstoßende Flächen genau rechtwinklig aufeinander stehen.

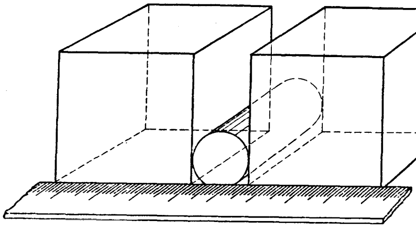

Fig. 8.

Anleitung. **m)** Lege die beiden Holzklötze mit zwei Flächen aneinander, drehe sie so, daß die Fuge gegen das Licht gekehrt ist, und prüfe, ob sich die beiden Flächen überall berühren. Drehe den einen Klotz um 180^0 um die Achse, die auf der Berührungsfläche senkrecht steht, und prüfe, ob sich auch jetzt beide Flächen überall berühren.

n) Lege den Zylinder so zwischen die beiden Flächen, daß seine Längsachse diesen parallel läuft, und setze den Maßstab so vor die beiden Klötze, daß dessen Teilung dicht an den Klötzen und dem Zylinderboden anliegt (Fig. 8). Miß den Abstand (d cm) der beiden Flächen.

o) Drehe den Zylinder um seine Achse und miß noch zweimal seinen Durchmesser; benutze dabei jedesmal einen andern Teil des Maßstabes.

p) Wende den Zylinder, so daß jetzt der andere Zylinderboden dem Maßstab zugekehrt ist, und verfahre wie bei (n) und (o).

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . zylinder Nr. . . .

Ablesung links cm	Ablesung rechts cm	Durchmesser d cm	Höhe h cm
	Summe	. . . . . .	. . . . . .
	Mittel	. . . . . .	. . . . . .

$r = \ldots.$ [cm]. $V = \ldots.$ [cm^3].

Nimm aus den gefundenen Werten des Durchmessers d das Mittel und berechne daraus den Halbmesser r des Zylinders in Zentimeter.

r) Miß auf die gleiche Weise die Höhe h des Zylinders in Zentimeter. *Schustermaß. Schublehre.*

s) Verfahre wie bei (f) und (g).

Bemerkungen. Maßgebend für die Abmessungen des Zylinders ist, daß sich seine Masse mit den vorhandenen Wagen gut bestimmen läßt. Eiserne Zylinder rosten leicht; man muß sie nach dem Gebrauch mit einem Öllappen abwischen und, wenn sie trotzdem rostig geworden sind, mit Petroleum reinigen.

Sind ΔV, $\Delta \pi$, Δr und Δh die Fehler der Größen V, π, r und h, so ist

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta h}{h}.$$

Man muß also r sehr genau messen, für π kann man hier 22/7 setzen.

Ist bei dem ersten Verfahren δ cm die Dicke des Papiers, so ist bei einer Umwickelung von der Länge u

$$r = \frac{u}{2\pi} - \delta.$$

Um die Dicke des Papiers zu bestimmen, wickelt man einen langen Streifen, so oft es geht, fest um den Zylinder, sticht mit der Nadel durch alle Lagen hindurch, wickelt dann den Streifen ab und mißt die Abstände u_ν je zweier aufeinander folgenden Stiche. Die Anzahl der Stiche sei $2n+1$; ist die Anzahl gerade, so berücksichtige man den letzten Stich nicht. Man ordnet die $2n$ Umfänge in zwei Gruppen u_ν und $u_{n+\nu}$ und bildet die Unterschiede $\Delta_\nu = u_{n+\nu} - u_\nu = n\delta$. Die Summe dieser n Unterschiede ist $s = n^2\delta$ und mithin $\delta = s/n^2$.

Beim zweiten Verfahren kann man statt des Fadens auch einen dünnen Metalldraht verwenden. Windet man einen gerade gestreckten Draht oder Faden von der Länge l cm und dem Durchmesser d cm in N vollen Windungen, die dicht nebeneinander liegen, um einen Zylinder vom Halbmesser r cm und hat die Drahtspirale die Höhe h cm, so ist $Nd = h$ und $l^2 = 4\pi^2 N^2 r^2 + h^2$, mithin

$$r = \frac{l}{2\pi N}\sqrt{1 - \frac{h^2}{l^2}}$$

oder, wenn h/l klein ist, angenähert

$$r = \frac{l - \frac{h^2}{2l}}{2\pi N}$$

und, wenn h/l sehr klein ist, $r = l/2\pi N$.

Beim dritten Verfahren muß die Höhe der Klötze größer als der Halbmesser des Zylinders sein. Statt der Klötze kann man auch die Brücken verwenden, die zu den Wagen gehören.

4. Aufgabe. *Miß mit der Schublehre den Durchmesser und die Höhe des vorgelegten Zylinders und berechne dessen Raum.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Ein Stück dünner Karton oder dickes Papier ($\sim$ 20 cm $\times$ 7,5 cm $\times$ 0,05 cm). Meterstab. Schere. Spitzer harter Bleistift. Dreiecke. Schublehre. Zylinder (vgl. Aufg. 3 S. 7). Lupe (Fadenzähler oder Okular vom Fernrohr; vgl. Optik, Aufg. 16).

Anleitung. **a)** Ziehe längs der Mitte des Kartons eine Gerade AB (Fig. 9). Stelle den Maßstab so auf die hohe Kante, daß der untere geteilte Rand mit AB zusammenfällt, und mache, ohne dabei den Maßstab im geringsten zu verschieben, von einer Stelle an, die $\sim$ 2 cm rechts von A liegt, bei jedem ganzen Zentimeter mit einem spitzen harten Blei einen feinen Punkt auf AB, bis eine Teilung von $\sim$ 15 cm Länge aufgetragen ist. Sorge dafür, daß bei der Arbeit der Maßstab stets gut beleuchtet ist. Ziehe mit den Dreiecken, wie in der Figur 9, rechtwinklig zu AB kurze Striche und beziffere sie wie dort. Trage auf der anderen Seite von AB eine Teilung auf, bei der jeder Abschnitt 0,9 cm lang ist, und die an demselben Punkt wie die Zentimeterteilung beginnt, so daß die Nullpunkte beider Teilungen zusammenfallen. Der Strich 10 der neuen Teilung bildet also die Verlängerung von Strich 9 der Zentimeterteilung. Die neue Teilung nennt man einen *Nonius*.

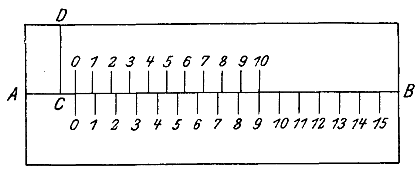

Fig. 9.

b) Mache sehr sorgfältig mit der Schere einen Schnitt von B

bis C und einen Schnitt von D bis C, so daß der Karton in zwei Stücke zerfällt. Verschiebe den Nonius längs der Zentimeterteilung. Es entsteht zwischen den Rändern, die vorher in CD zusammenfielen, eine Lücke. *Schublehre. Nasen, Schnäbel* oder *Schenkel.*

c) Gib den Nasen den Abstand 1 cm. Wie weit muß man die beiden Nullstriche voneinander entfernen damit dies der Fall ist? Wie groß ist, wenn die Nasen aneinanderliegen, der Abstand zwischen dem Strich 1 des Nonius und dem Strich 1 der Hauptteilung? Woran erkennt man, daß die Nasen 0,1 cm voneinander abstehen? Laß die Striche 2, 3, . . . 10 des Nonius der Reihe nach mit den Strichen 2, 3, . . . 10 der Teilung zusammenfallen. Um wieviel Zentimeter steht in jedem einzelnen Fall der Nullpunkt des Nonius vom Nullpunkt der Teilung ab?

d) Gib den Nasen folgende Abstände: 2 cm, 0,2 cm, 0,5 cm, 1,6 cm, 4,9 cm. Zeige dem Lehrer jede Einstellung.

e) Miß mit dem Modell der Schublehre die Durchmesser von Knöpfen, Münzen und andern zylindrischen Gegenständen.

f) Mache eine Zeichnung der Schublehre (Fig. 10). In welchen Einheiten ist der Stab der Schublehre geteilt? Die Nasen der Schub-

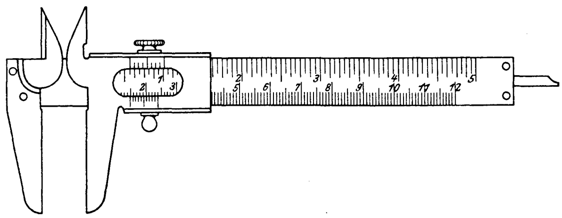

Fig. 10.

lehre ersetzen die Holzklötze, die wir in Aufgabe 3 benutzt haben. Wieviel Nasen hat die Lehre? Wozu dienen sie?

g) Löse die Befestigungsschraube des Rahmens und sieh zu, ob die Innenflächen der Nasen ganz rein sind, wenn nicht, zeige dem Lehrer die Schublehre. Schiebe ihre Nasen zusammen, halte sie zwischen das Auge und das Licht und sieh nach, ob sie sich in ihrer ganzen Länge berühren. Ziehe die Befestigungsschraube an. Bleiben die Nasen zusammen? Wende die Teilung dem Licht zu und prüfe, wenn nötig mit der Lupe, ob der Nullpunkt des Nonius mit dem Nullpunkt der Teilung zusammenfällt. *Nullfehler.* Welche Verbesserung hat man bei jeder Messung anzubringen, wenn die Nullstriche nicht zusammenfallen? Lies bei aneinander liegenden Nasen ab, wieviel Teile der Hauptteilung der geteilten Strecke des Nonius gleich sind? In wieviel Teile ist der Nonius geteilt? Schreibe die Länge von einem Teil des Nonius auf. Wie weit muß man die Nasen, wenn sie sich berühren, voneinander entfernen, damit der Teilstrich 1 des Nonius mit dem Teilstrich 1 mm der Stabteilung zusammenfällt? Klemme den Rahmen fest und zeige dem Lehrer die Einstellung.

h) Verschiebe den Nonius so, daß sein Nullstrich mit dem Teilstrich 2 mm der Hauptteilung zusammenfällt, und klemme den Rahmen fest. Wie groß ist der Abstand der beiden Nullstriche und der Abstand des Nullpunktes der Hauptteilung von dem 1., 2., 3., ... 10. Teilstrich des Nonius? Zeige dem Lehrer die Einstellung.

i) Verschiebe den Rahmen so, daß die beiden Nullstriche genau 3 mm voneinander abstehen. Wie weit stehen die Nasen voneinander ab?

k) Wie weit muß man jedesmal den Nonius von der Nullstellung aus verschieben, damit seine Teilstriche 2, 3, 6 und 9 der Reihe nach mit den Teilstrichen 2, 3, 6 und 9 mm der Hauptteilung zusammenfallen?

l) Schiebe die Nasen zusammen. Öffne die Nasen 0,1 mm weit. Welche Striche des Nonius und der Teilung fallen zusammen? Welche Striche stehen genau übereinander, wenn der Abstand der Nullpunkte von Nonius und Stab 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm und 1 mm ist?

m) Ziehe die Nasen genau 1,9 cm auseinander. Welche Striche des Nonius und der Teilung fallen zusammen? Gib den Nasen der Reihe nach die Abstände 1,91 cm, 1,92 cm 1,93 cm usw. bis 2,00 cm. Welche Striche des Nonius und der Teilung fallen jedesmal zusammen?

n) Stelle den Strich 4 des Nonius genau über den Strich 7 cm der Hauptteilung. Wie weit stehen die Nullpunkte des Nonius und des Stabes voneinander ab? Zeige dem Lehrer die Einstellung. Wie weit stehen die Nasen voneinander ab? Beim Messen bestimmt man stets den Abstand des Nullstriches des Nonius von dem Nullstrich der Hauptteilung.

o) Bestimme nochmals wie bei (g) den Nullfehler der Schublehre. Löse die Schraube, entferne die Nasen voneinander und schiebe das eine Ende des Zylinders dazwischen. Drehe den Zylinder zwischen den Nasen und suche den Durchmesser, der scheinbar der größte ist. Stelle den Zylinder so, daß seine Längsachse rechtwinklig zum Stabe der Schublehre steht, die Berührungspunkte mit den Nasen sich genau gegenüberliegen und genau gleich weit von der einen Stirnfläche abstehen. Schiebe die Nasen so weit zusammen, daß der Zylinder ohne erheblichen Druck noch eben lose gehalten wird. Ziehe die Schraube an und lies an der Hauptteilung die Stellung des Noniusnullstriches ab und dann den Strich des Nonius, der mit einem Strich der Hauptteilung genau zusammenfällt. Zeige dem Lehrer die Einstellung. Schätze stets bei der Ablesung der Zentimeter und Millimeter an der Stabteilung auch die Zehntelmillimeter und lies diese dann am Nonius ab.

p) Drehe den Zylinder um seine Achse um 90^0 und miß wiederum den Durchmesser.

q) Miß ebenso zwei Durchmesser am andern Ende und zwei in der Mitte des Zylinders und bestimme jedesmal von neuem den Nullfehler.

r) Berechne den Mittelwert des Durchmessers und verbessere ihn mit dem Mittelwert des Nullfehlers. Der verbesserte Wert ist die wahrscheinlichste Größe des Zylinderdurchmessers.

s) Miß in ähnlicher Weise an verschiedenen Stellen die Höhe des Zylinders.

t) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schublehre Nr. . . . . zylinder Nr. . . .

	Nullfehler in cm	Durchmesser d cm	Nullfehler in cm	Höhe h cm
Summe	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
Mittel	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .

Verbesserter Durchmesser $d = \ldots$ [cm]. Verbesserte Höhe $h = \ldots$ [cm].
$V = \ldots$ [cm^3].

u) Wische die Schublehre mit einem Öllappen ab, schiebe die Nasen zusammen und ziehe die Schraube an.

Bemerkungen. Man achte bei der Rückgabe der Schublehren sorgfältig darauf, daß sie geschlossen und die Schrauben angezogen sind. Man öle sie vor dem Weglegen etwas ein und reinige sie, falls sich trotzdem Rost angesetzt hat, mit Petroleum. Man weise den Schüler darauf hin, daß die Schublehre ein feines und bequemes Werkzeug ist, das verdient, mit größter Sorgfalt behandelt zu werden.

5. Aufgabe. *Wie groß ist der Raum der vorgelegten Kugel?*
(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 3 oder 4, doch statt des Zylinders eine Kugel aus Buchsbaumholz von 4 cm Durchmesser.

Anleitung. Miß wie bei Aufgabe 3, Verfahren 3 (S. 8), oder wie bei Aufgabe 4 drei Durchmesser der Kugel. Nimm aus den Ergebnissen das Mittel und berechne daraus den Halbmesser (r cm) und den Rauminhalt der Kugel

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ [cm}^3\text{]}.$$

Bemerkungen. Man kann auch eine Kugel aus Glas oder Stahl (Lagerkugel) verwenden, doch muß sich ihre Masse mit den vorhandenen Wagen bestimmen lassen.

Da

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 3\frac{\Delta r}{r}$$

ist, wo ΔV, $\Delta \pi$ und Δr die Fehler der Größen V, π und r bezeichnen, so ist der Durchmesser der Kugel möglichst genau zu messen. Es empfiehlt sich daher nicht, auf der Kugel eine Strichmarke anzubringen, durch Abrollen den Umfang zu bestimmen und daraus r zu berechnen.

Bestimmt man den Durchmesser der Kugel mit Holzklötzen, so muß deren Höhe größer als der Halbmesser der Kugel sein.

6. Aufgabe. *Kann man mit einem Keil die innere Weite einer Glasröhre, den Durchmesser einer Schrotkugel und die Dicke eines Drahtes bestimmen?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Watson, *Elem. Pract. Phys. 11 Nr. 9 u. 10.*

Geräte. Millimeterpapier.
Schere.
Meßkeil ($^1/_{10}$) aus Millimeterpapier, auf dünne Pappe geklebt.
Keilausschnitt ($^1/_{10}$) aus Millimeterpapier, auf dünne Pappe geklebt.
Kurze Glasröhren.
2 Glasscheiben.
3 gleiche Schrotkörner (besser kleine Lagerkugeln aus Stahl).
Draht von 1—2 mm Durchmesser, an einem Ende flach abgefeilt.
Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. **a)** Zeichne auf Millimeterpapier die Strecke $AB = 10$ cm (Fig. 11) und in B das Lot $BC = 1$ cm. Verbinde A mit C.

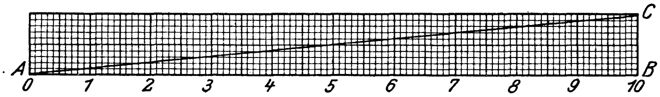

Fig. 11.

Die Abschnitte x auf AB sind die *Abszissen* und die Lote in deren Endpunkten bis zur Strecke AC die *Ordinaten* y der Punkte auf AC.

b) Miß die Ordinaten, die zu folgenden Abszissen gehören, und trage sie in die Tafel ein.

x cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y cm											
y/x											

Welche Beziehung besteht also zwischen x und y?

c) Miß und berechne die Ordinaten, die zu den Abszissen 4,3 cm, 7,8 cm, 5,5 cm, 9,0 cm und 8,55 cm gehören. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein.

x cm	y cm		$\varDelta = y' - y''$
	berechnet y'	gemessen y''	

d) Klebe das Millimeterpapier auf Pappe, überziehe auch ihre andere Seite mit Millimeterpapier und schneide nach dem Trocknen mit einem scharfen Messer oder der Schere das Dreieck sehr sorgfältig aus. Man erhält so den Meßkeil und den Keilausschnitt.

e) Schiebe den Keil (Fig. 12) soweit wie möglich, doch ohne ihn zu verbiegen, in das Innere einer Glasröhre, lies an der Seite AB

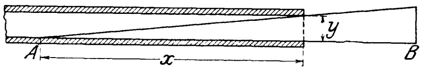

Fig. 12.

des Keiles, die an der Glaswand dicht anliegt, die Abszisse x ab und berechne daraus die innere Weite y der Röhre. Drehe den Keil in der Röhre und miß noch zweimal den inneren Durchmesser. Nimm aus den drei Messungen das Mittel.

f) Lege auf eine Glasplatte die drei Schrotkugeln oder Lagerkugeln und darauf eine zweite Glasscheibe. Miß mit dem Keil den Abstand der beiden Platten. Wie groß ist der Durchmesser der Kugeln? Wiederhole die Messung noch zweimal und bilde das Mittel.

g) Schiebe den Draht D (Fig. 13) in den Keilausschnitt so ein, daß seine Stirnfläche die Hypotenuse berührt, lies die Abszisse x ab

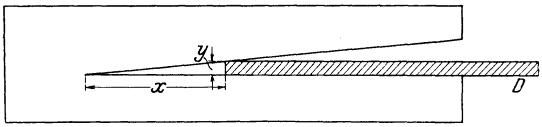

Fig. 13.

und berechne daraus den Durchmesser y. Drehe den Draht um seine Längsachse, wiederhole die Messung noch zweimal und nimm das Mittel.

Bemerkungen. Die Aufgabe soll nur als Vorübung zur Messung mit der Mikrometerschraube (Aufgabe 8) dienen. Es empfiehlt sich, die Keile und Keilausschnitte einmal anfertigen zu lassen und dann aufzubewahren. Hat man die Abszissen beziffert, so schadet es nichts, wenn die Spitze des Keils verletzt wird.

Allgemein ist $y = x \operatorname{tg} \alpha$, wo α den Steigungswinkel bezeichnet. Bei unserm Keil ist $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}1$.

7. Aufgabe. *Kann man mit Schraube und Mutter Längen messen?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Watson, *Elem. Pract. Phys. 12 Nr. 11 u. 12.*

Geräte. Millimeterpapier. Bleistift. Ziehfeder. Tusche. Fischleim oder Klebwachs. Holzzylinder von 6 cm Höhe und 3,14 cm Durchmesser. Bunsengestell. Schraube und Mutter. Maßstab. Schublehre.

Anleitung. a) Zeichne auf Millimeterpapier ein Rechteck (10 cm × 6 cm) und an dessen rechtem Rande einem Heftstreifen (Fig. 14). Ziehe in dem Rechteck durch die Punkte C bis G fünf Parallelen zur Längsseite und in den so entstandenen schmalen Rechtecken die Diagonale BC und deren Parallelen.

b) Schneide die Figur sorgfältig aus und klebe sie als Mantel um den Holzzylinder (Fig. 15). Was für eine Linie bilden nun die Diagonalen? *Schraubenlinie.*

c) Verfolge, ohne das Papier zu berühren, mit der Bleistiftspitze von B aus die Schraubenlinie auf dem Zylinder rechts herum. Wo

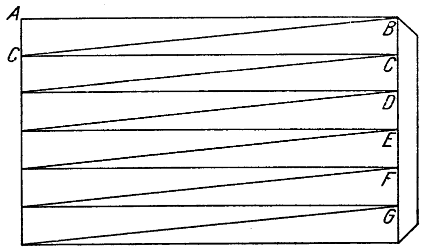

Fig. 14.

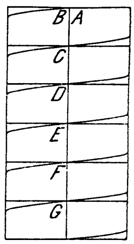

Fig. 15.

steht die Bleistiftspitze nach einem vollen Umlauf? Um wieviel Zentimeter ist die Spitze lotrecht nach unten gewandert? Wohin gelangt die Spitze nach einem zweiten, dritten usw. Umlauf? Wie groß ist die *Ganghöhe* der Schraubenlinie?

d) Wo befindet sich die Bleistiftspitze, wenn man von B aus nur zwei Zehntel eines Umlaufes macht? Um wieviel Zentimeter haben wir dabei die Spitze lotrecht nach unten verschoben?

e) Um wieviel Zentimeter senkt man die Bleistiftspitze, wenn man damit 0,7; 1,3; 4,75 Umläufe macht?

f) Läßt sich eine Regel aufstellen, die gestattet, sofort die Strecke z anzugeben, worum man bei dem Umlauf u die Bleistiftspitze parallel zur Achse verschiebt?

g) Klemme den Bleistift wagerecht fest, drehe den Zylinder und verschiebe ihn gleichzeitig in der Richtung seiner Achse, so daß die Bleispitze stets auf der Schraubenlinie bleibt. *Schraubenbewegung.* Um wieviel Zentimeter müssen wir bei jeder vollen Umdrehung den Zylinder in seiner Achsenrichtung verschieben? Um wieviel Zentimeter bei einer halben Umdrehung? Kann man durch Zählen der Umdrehungen sofort bestimmen, um wieviel Zentimeter sich der Zylinder in seiner Achsenrichtung verschoben hat? *Schraube und Mutter* (Fig. 16). *Gewinde. Ganghöhe.*

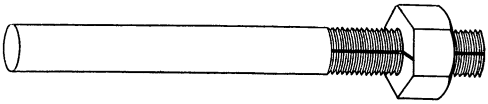

Fig. 16.

h) Schraube die Mutter vom Bolzen ab. Miß auf dem Gewinde den Abstand zwischen ~ 10 eingeritzten Marken und berechne daraus die Ganghöhe.

i) Schraube die Mutter wieder auf und drehe sie so weit, daß ihre Strichmarke mit einer Strichmarke auf dem Gewinde zusammenfällt. Drehe den Bolzen und stelle fest, nach wieviel vollen Umdrehungen wieder eine Marke auf dem Gewinde bei dem Strich auf der Mutter steht. Um welche Strecke verschiebt sich also der Bolzen bei einer vollen Umdrehung?

k) Bestimme durch Rechnung (aus der Ganghöhe) und durch Messung die Verschiebung der Schraube bei 2; 3,5; 4,25 und 7,75 Umdrehungen.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schraubensatz Nr. . . . Ganghöhe $h = \ldots$ [cm]

Zahl der Umdrehungen N	Verschiebung berechnet z' cm	Verschiebung beobachtet z'' cm	$\varDelta = z' - z''$

Bemerkungen. Diese Übung soll wie Aufgabe 7 das Messen mit der Mikrometerschraube (Aufg. 8) vorbereiten.

Die Schraube ist 23 cm lang und hat 2,15 cm Durchmesser und 0,278 cm Ganghöhe. Parallel zur Achse ist über das Gewinde ein Strich eingeritzt. Die Mutter trägt auf der Fläche, die dem Schraubenkopf zugekehrt ist, eine radiale Strichmarke, die man mit den Gewindemarken zur Deckung bringen kann.

8. Aufgabe. *Wie dick ist der vorgelegte Draht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Messingdraht von 0,5 bis 3 mm Durchmesser. Mikrometerschraubenlehre mit Gefühlschraube von 1 (oder besser 0,5) mm Ganghöhe. Maßstab. Glasröhre.

Anleitung. a) Wickle in dicht aneinanderliegenden Windungen den Draht ~ 10 bis 100mal um einen dünnen zylindrischen Stab (Bleistift, Glasröhre u. dgl.). Miß die Länge der so hergestellten Spirale und berechne daraus den Durchmesser des Drahtes.

b) Nimm die Mikrometerschraube (Fig. 17) in die linke Hand, fasse den geränderten Kopf lose zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand und öffne durch Drehen des Kopfes die *Zähne* der Schraube, doch nicht weiter als ~ 1,5 cm. Sieh zu, ob die Zähne rein sind; wenn nicht, zeige dem Lehrer die Schraube.

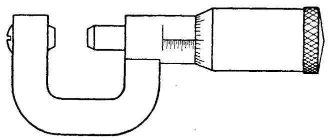

Fig. 17.

c) In welchen Einheiten ist auf der Mutter die *Hubteilung* ausgeführt und wie ist sie beziffert? Wie ist die *Haubenteilung* eingeteilt und beziffert? Zeichne die Mikrometerschraube.

d) Drehe die Haube (oder Trommel) so, daß ihr Nullstrich mit dem *Zeiger*, d. h. mit dem axialen Strich der Hubteilung zusammenfällt. Lies die Millimeter auf der Hubteilung ab. Drehe die Haube einmal vollständig herum und lies wieder den Hub ab. Wie groß ist die Ganghöhe der Mikrometerschraube. Um wieviel Millimeter werden die Zähne gegeneinander verschoben, wenn man die Haube um den kleinsten Teilstrich dreht? Wie groß ist der kleinste Teil eines Millimeters, den man mit der Schraube messen kann, wenn man die Zehnteleinheiten der Haubenteilung schätzt? Stelle die Zähne auf folgende Abstände ein: 3,00; 3,01; 3,05; 3,15; 3,16; 3,45; 3,515; 4,742 mm. Zeige dem Lehrer die letzte Einstellung.

e) Schließe die Zähne der Schraubenlehre g a n z z a r t. Beim Gebrauch der Mikrometerschraube darf man nie Kraft anwenden, da man leicht das Gewinde beschädigen kann. Bei den Messungen drehe man stets erst den Schraubenkopf, bis der bewegliche Zahn mit dem andern Zahn oder dem zu messenden Gegenstand in lose Berührung kommt, und benutze dann erst die Gefühlschraube. Fällt bei geschlossenen Zähnen der Nullpunkt der Haubenteilung mit dem Zeiger zusammen? Lies, wenn dies nicht der Fall ist, die Stellung des Nullstriches ab. *Nullfehler*. Überlege, ob der Nullfehler zu den Ablesungen hinzuzufügen oder davon abzuziehen ist.

f) Lege den Draht zwischen die Zähne der Schraubenlehre und klemme ihn leicht dazwischen. Lies an der Hubteilung die Millimeter ab, schätze erst den Millimeterbruchteil und lies ihn dann an der Haubenteilung ab. Drehe den Draht um 90^0 um seine Achse und miß nochmals seinen Durchmesser. Bestimme wiederum den Nullfehler.

g) Miß wie bei (f) an zwei weiteren Stellen des Drahtes den Durchmesser.

h) Berechne den Mittelwert des Durchmessers und verbessere ihn mit dem Mittelwert des Nullfehlers. Der verbesserte Wert ist die wahrscheinlichste Größe des Drahtdurchmessers.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Mikrometerschraubenlehre Nr. . . . . . . Draht

	Nullfehler in mm	Draht-durchmesser in mm
Summe	. . . . . .	. . . .
Mittel	. . . . . .	. . . .

k) Schließe die Zähne der Schraube, wische das Instrument mit einem Öllappen ab und gib es dann dem Lehrer zurück.

Bemerkungen. Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4, S. 13. Die Mikrometerschraube wird man Obertertianern und Untersekundanern nicht in die Hände geben. Weist man die Schüler darauf hin, wieviel höher die Leistungen dieser sinnreichen Schraube sind als die des gewöhnlichen Meterstabes und der Schublehre, und hebt man zugleich hervor, daß die großartigen Fortschritte des Maschinenbaus in der Neuzeit besonders auf der Verfeinerung der Meßwerkzeuge beruhen, die man heutzutage dem Arbeiter in die Hände geben kann und muß, so werden sie das feine kleine Instrument bewundern und sorgsam behandeln.

Man erlaube den Schüler nicht, durch Nachdrehen des festen Zahns den Nullfehler zu berichtigen.

II. Masse und Dichte.

Regeln für das Wägen.

1. Schreibe deinen Namen, die Klasse und das Datum auf die Karte, die bei der Wage liegt.

2. Sieh nach, ob die Wage frei von Staub ist. Entferne, ohne dabei die Wage in Schwingungen zu versetzen, mit einem weichen Pinsel oder Leder sehr behutsam den Staub.

3. Stelle mit den Stellschrauben den Senkel oder die Libelle richtig ein. Ist keine solche Vorrichtung da, so setze auf das Grundbrett der Wage eine Dosenlibelle oder hänge neben den Zeiger ein Lot und richte damit die Wage aus.

4. Drehe niemals an einer Schraube usw., fasse nie den Zeiger an und berühre niemals die Schalen oder die Massenstücke mit den bloßen Fingern.

5. Prüfe, ob die Wage frei schwingt und die Ausschläge langsam abnehmen.

6. Prüfe, ob der Zeiger über dem mittleren Teilstrich steht. Sieh dabei aus größerer Entfernung senkrecht auf die Ebene der Teilung. Lege auf die leichtere Schale als Ausgleichmassen Stückchen Papier, Zinn- oder Bleiblatt, bis die Zunge richtig einspielt.

7. Sieh nach, welche Massenstücke der Massensatz enthält. Führe diese Prüfung vor jeder Benutzung aus und melde sofort dem Lehrer das Fehlen von Massenstücken. Sieh nach, ob die Massenstücke staubig oder schmutzig sind. Wische sie mit einem reinen, weichen Tuch oder Leder ab, ohne sie dabei mit den bloßen Fingern anzufassen.

8. Ist für die Bruchgramme nur ein Behälter da, so lege diese Massenstücke mit der kleinen Greifzange der Größe nach geordnet auf das Grundbrett.

9. Setze den zu wägenden Körper auf die linke und die Massenstücke auf die rechte Schale. (Hat man jedoch eine bestimmte Masse, etwa eine Flüssigkeit oder ein Salz abzugleichen, so setzt man diese auf die rechte Seite.) Lege alle Belastungen auf die Mitten der Schalen oder ordne sie gleichmäßig darum an. Halte, falls die Wage keine Arretierung hat, beim Aufsetzen von Massen die Schale mit einem Stück Fließpapier oder einem reinen Tuch fest, damit sie nicht in Schwingungen gerät.

10. Halte die Schalen und Massenstücke sorgfältig frei von Schmutz, Staub und Feuchtigkeit. Lege keinen nassen oder schmutzigen Gegenstand auf die Schalen und trockene namentlich die Außenwand aller Gefäße, die eine Flüssigkeit enthalten, tüchtig ab.

11. Fasse die Massenstücke nur mit der Greifzange an.

12. Schätze zunächst die Masse des zu wägenden Gegenstandes ab. Setze das kleinste Massenstück, das nach der Schätzung zu groß ist, auf die rechte Schale. Ist es wirklich zu groß, dann das nächst kleinere Massenstück. Fahre so fort, bis das größte Massenstück gefunden ist, das zu klein ist. Lege nun die gleich großen oder kleineren Massenstücke der Reihe nach, ohne eins auszulassen, auf die Schale und entferne ein Massenstück nur dann von der Schale, wenn es zu groß war. Fahre so mit dem Zulegen fort, bis das Hinzufügen von 0,01 gr den Zeiger von der einen auf die andere Seite treibt. Schätze den Bruchteil von 0,01 gr, der erforderlich wäre, um den Zeiger genau über den mittleren Teilstrich zu stellen.

13. Wäge langsam und sorgfältig.

14. Warte nicht das Ausschwingen ab, sondern nur so lange, bis die Schwingungen klein geworden sind. Sind zwei aufeinanderfolgende kleine Ausschläge nach rechts und links nahezu gleich, so sind die Massen auf beiden Schalen gleich. Dämpfe nie die Schwingungen durch Anfassen des Zeigers oder der Schale mit den Fingern, sondern erforderlichenfalls nur durch leises Berühren der Schalen mit der offenen Greifzange oder besser mit einem Kamelhaarpinsel.

15. Massenstücke dürfen nur auf den Wageschalen oder in ihren Fächern im Kasten, nie aber auf dem Tisch liegen. (Vgl. 8.)

16. Schreibe alle Massenstücke, die auf der Wageschale liegen, der Größe nach auf und zähle sie zusammen. Addiere alle Massenstücke, die im Kasten fehlen, und vergleiche die Summe mit der vorher erhaltenen. Prüfe das Ergebnis nochmals beim Zurücksetzen der Massenstücke.

17. Wiederhole die Wägung, doch setze diesmal den Gegenstand auf die rechte und die Massenstücke auf die linke Schale. Sieh das Mittel aus beiden Ergebnissen als die Masse des Gegenstandes an.

18. Benutze beim Austarieren von Gegenständen keine Massenstücke, sondern Schrot, Granaten, Blei- oder Zinnblatt, Papier u. dgl. Lege die Gegenmassen nie auf die Wageschale selbst, sondern in besondere Tarierschalen (Schachteldeckel) oder Tarierbecher.

19. Hat die Wage eine Vorrichtung zum Arretieren, so muß man die Wage vor dem Aufsetzen und Wegnehmen von Gegenständen und Massenstücken jedesmal arretieren. Arretiere langsam und vorsichtig. Ist das Gleichgewicht noch nicht nahezu erreicht, so genügt schon ein teilweises Aufheben der Arretierung zur Beurteilung, ob das aufgelegte Massenstück zu groß oder zu klein ist.

20. Prüfe am Schluß der Wägung, ob alles, Wage und Massensatz, in guter Ordnung ist. Melde sofort dem Lehrer jeden Mangel.

Bemerkungen. Nach meinen Erfahrungen bewähren sich bei den Übungen Wagen mit Vorrichtungen zum Arretieren nicht gut.

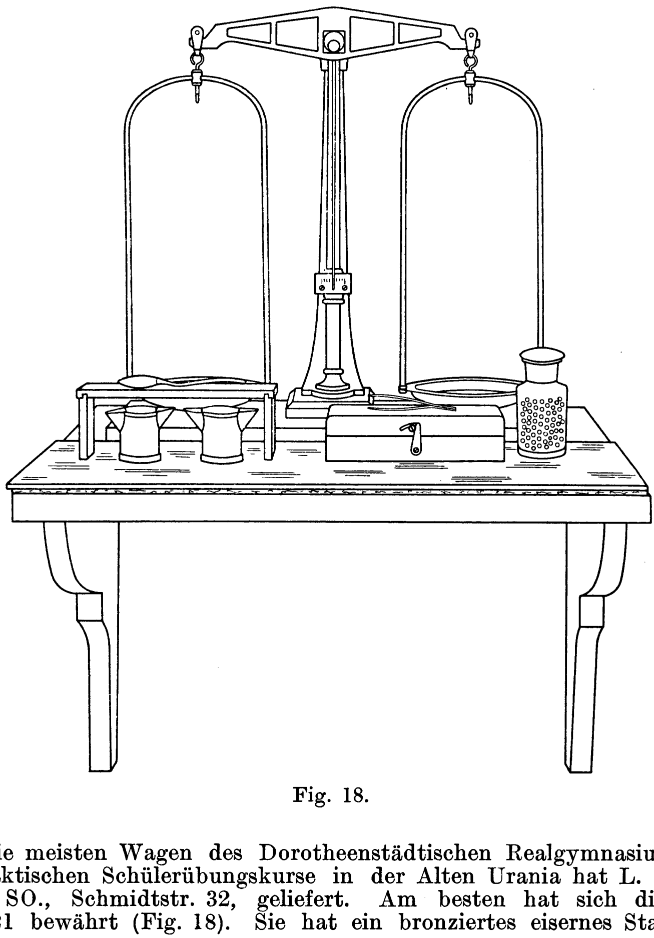

Fig. 18.

Die meisten Wagen des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums und der praktischen Schülerübungskurse in der Alten Urania hat L. Reimann, Berlin SO., Schmidtstr. 32, geliefert. Am besten hat sich die Wage Nr. 1521 bewährt (Fig. 18). Sie hat ein bronziertes eisernes Stativ und einen durchbrochenen Balken aus Messing. Die Spitze der Zunge, die nach unten gerichtet ist, spielt vor einer Teilung. Sie hat zwei Bügelschalen aus Messing, die oben und auf den Unterseiten der Schalen mit Aufhängehaken ausgestattet sind. Das polierte Grundbrett ist mit entsprechenden Öffnungen von 3 cm Durchmesser versehen. Die Wage verträgt auf jeder Seite die Belastung 1 kg. Der Gewichtsatz reicht von 0,01 bis 200 gr und enthält im ganzen 501 gr. Die Bruchgramme liegen einzeln unter einer Glasplatte. Eine Pinzette ist beigegeben. Der Preis der Wage ist 26,00 M. und der des Gewichtsatzes 7,50 M. Ähnliche, gute Wagen liefern auch F. A. Hintze, Berlin N. 37, Metzer Str. 29 und G. Kistler, Ebingen.

Da immer Verluste an Bruchgrammen, namentlich an 0,02 gr-Stücken, eintreten, so halte man sich einen ausreichenden Ersatzvorrat.

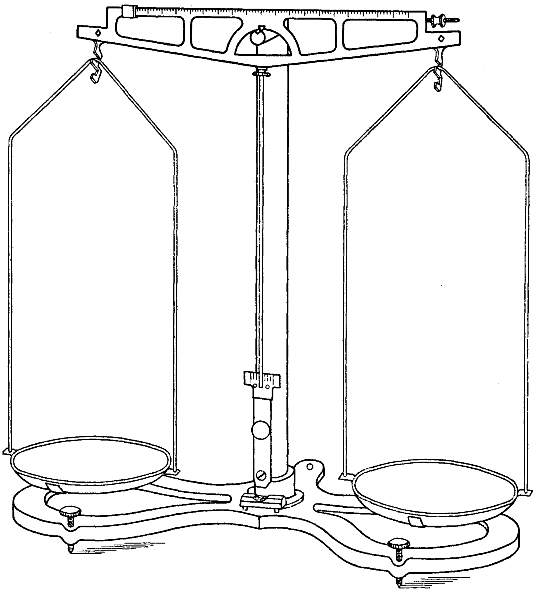

Fig. 19.

Im Sommer 1907 haben die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse in der Alten Urania die in Fig. 19 abgebildete Wage von der Central Scientific Company, 14—28 Michigan St., Chicago, Ill., bezogen. Sie ist ein Ersatz für die „*Harvard Trip Scale*". Ihre größte zulässige Belastung ist 2 kg und ihre Empfindlichkeit bei dieser Belastung 0,05 gr. Der durchbrochene Balken ist geteilt und trägt ein Schiebgewicht. Man wägt in der üblichen Weise bis auf 10 gr, stellt dann mit dem Schiebgewicht das Gleichgewicht her, liest, da ein Teilstrich des Wagebalkens 0,1 gr darstellt, die Zehntelgramm ab und schätzt die Hundertelgramm. Die bewegliche Skala, wovor die Zunge spielt, gestattet ein rasches Dämpfen der Schwingungen. Eine ähnliche Wage stellt auch L. Reimann für 48 M. her. Vgl. über Wägen Kohlrausch, *Lehrb. d. prakt. Phys.*[10] 51 und Ostwald-Luther 46, und über Wagen W. Felgentraeger, *Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwage, B. G. Teubner, Leipzig, 1907.*

9. Aufgabe. *Wie groß sind Masse und Dichte eines vorgelegten Stabes von kreisförmigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wage. Massensatz. Zylinder (vgl. Aufg. 3, S. 7).

Anleitung. **a)** Bestimme mit der Wage die Masse (m gr) des Zylinders.

b) Schlage in dem Übungsheft nach, wie groß der Raum (V cm^3) des Zylinders ist.

c) Berechne die Masse von einem Kubikzentimeter des Zylinders. *Dichte:* ϱ gr/cm^3.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . . . . zylinder Nr. . . .

Halbmesser des Zylinders $r = \ldots$ [cm].
Höhe des Zylinders $h = \ldots$ [cm].
Masse des Zylinders $m = \ldots$ [gr].
Dichte des Zylinders $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm^3].

e) Schreibe deinen Namen, die Nummer des Zylinders und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

f) Ist die Dichte des Stoffes von seiner Gestalt abhängig?

g) Schlage nach, welchen Wert man sonst für die Dichte des gegebenen Stoffes gefunden hat.

Bemerkungen. Bei der Erledigung dieser Aufgabe sollen die Schüler das Wägen lernen. Es ist daher notwendig, daß alle Schüler gleich große Zylinder aus demselben Stoff erhalten. Man schaffe daher die Zylinder gleichzeitig an und verlange, daß sie alle aus demselben Rohmaterial angefertigt werden. Beim Wägen führen diesmal alle Schüler gleichzeitig dieselbe Handlung aus. Ein Schüler gibt stets an, was zu machen ist. Kein Schüler darf in der Wägung fortfahren, bevor nicht der gefragte Schüler gesagt hat, was zu tun ist. Der Lehrer hat mit der größten Sorgfalt darüber zu wachen, daß alle Schüler regelrecht verfahren. Sind die Zylinder gut gearbeitet, so treten Abweichungen erst bei den letzten Bruchgrammen auf. Die letzten Schritte der Wägungen hat der Lehrer bei jedem einzelnen Schüler nachzuprüfen. Bei dieser Übung, einer der wichtigsten und schwierigsten, die es gibt, hat der Lehrer seine ganze Energie einzusetzen. Besitzt er am Ende der Stunde noch einen trockenen Faden am Leibe, so hat er seine Pflicht nicht ganz erfüllt. Was er und seine Schüler in dieser Stunde an Arbeit zu viel aufwenden, das bringen die künftigen Ersparnisse an Arbeit und Zeit reichlich wieder ein. Auch bei den Aufgaben 10 bis 12, wo die Schüler bereits selbständig wägen, hat der Lehrer noch vor allem auf das rein mechanisch korrekte Arbeiten zu achten. Sind die Schüler bei den ersten Wägungen gut erzogen worden, so lernen sie später die sorgfältige und richtige Handhabung der andern feineren Meßwerkzeuge spielend.

Gibt ein Schüler einen Zettel mit einem grob abweichenden Ergebnis ab, so lasse man ihn zunächst seine Rechnungen wiederholen. Meßfehler sind sehr selten, Rechenfehler aber häufig. Sobald alle Zettel abgegeben sind, wird das Mittel aus den Ergebnissen sämtlicher Schüler gebildet.

Zum Nachschlagen der Werte für die Dichte gebe man den Schülern nicht nur Lehrbücher, sondern auch die Tabellen von Landolt-Börnstein und den „großen Kohlrausch“ in die Hand. Da die Benutzung von Wörterbüchern die einzige Handfertigkeit ist, die die Schüler seither in der Schule erworben haben, so setzt die Schnelligkeit, mit der sie sich in den Tafeln zurecht finden, nicht weiter in Erstaunen.

Aus $m = \varrho V$ folgt

$$\Delta \varrho = \frac{\Delta m}{V} - \frac{\varrho}{V} \Delta V,$$

wo ΔV, Δm, $\Delta \varrho$ die Fehler der Raum-, Masse- und Dichtebestimmung sind. Man muß also bei den dichteren Stoffen größere Volumina wählen, doch darf die Masse die größte Belastung, die die Wage zuläßt, nicht übersteigen.

Hat ein Schüler sein „Übungsheft" vergessen und kann er daher den früher gemessenen Raum des Zylinders nicht nachschlagen, so wägt er zwar mit, doch darf er die Dichte nicht berechnen. Ein solcher notwendiger Ausschluß von einer neuen gemeinsamen Arbeit bekämpft ohne jedes Scheltwort mit Erfolg die Nachlässigkeit.

Es empfiehlt sich nicht, die Aufgaben 9 bis 12 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu erledigen, da die Schüler an diesen einfachen Aufgaben die Kunst des sorfältigen Wägens lernen und üben müssen.

10. Aufgabe. *Wie groß sind Masse und Dichte des vorgelegten Holzstabes von rechteckigem Querschnitt?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, doch Holzklotz (vgl. Aufgabe 1, S. 1) anstatt des Zylinders.

Anleitung. Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9 S. 23.

11. Aufgabe. *Wie groß sind Masse und Dichte der vorgelegten Kugel?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9 S. 23, doch Kugel (vgl. Aufg. 5 S. 13) anstatt Zylinder.

Anleitung. Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9 S. 23.

12. Aufgabe. *Wie groß sind Masse und Dichte des vorgelegten Kupferdrahtes?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9 S. 23, doch ein Kupferdraht von $\sim$ 20 cm Länge und 0,5 bis 1 mm Durchmesser anstatt des Zylinders, dazu Beißzange, Feile und Meterstab.

Anleitung. **a)** Miß die Länge (l cm) und wie bei Aufgabe 8 (a) S. 17 den Durchmesser (d cm) des Drahtes.

b) Berechne aus d den Halbmesser (r cm) und aus r und l den Raum (V cm^3) des Drahtes.

c) Verfahre wie bei Aufgabe 9 S. 23.

13. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte des Wassers?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Zylinder aus Messingblech von 1 mm Stärke, 8 cm Höhe und 6,2 cm Durchmesser.

Abgeschliffene Glasplatte von 7,5 cm Durchmesser.

Schublehre.

Pipette (50 cm^3).

Geräte. Becherglas (600 cm³). Fließpapier. Wage. Massensatz. Tarierbecher. Tarierschrot. Thermometer, von -30^0 bis $+130^0$, geteilt in $^1/_1$ Grade. Pinsel.

Anleitung. **a)** Miß dreimal die lichte Weite, d. h. den inneren Durchmesser (d cm), und die Tiefe (h cm) des Zylinders. Berechne den inneren Halbmesser (r cm) und den Rauminhalt (V cm³) des Zylinders.

b) Tariere den Zylinder nebst Glasplatte auf der Wage sorgfältig aus.

c) Fülle den Zylinder ganz mit Leitungswasser, entferne dabei durch Umschwenken oder mit einem Pinsel oder Draht alle Luftblasen, decke die Glasplatte so auf, daß keine Luftblase eingeschlossen wird, und entferne alle Flüssigkeit von der Außenseite und der Glasplatte.

d) Stelle den Zylinder behutsam auf die linke Schale der Wage und bestimme die Masse (m gr) des Wassers.

e) Nimm den Zylinder von der Wage, rühre mit dem Thermometer fünf Minuten lang das Wasser um und miß seine Temperatur (t^0 C).

f) Berechne aus dem Raum und der Masse des Wassers seine Dichte (ϱ gr/cm³) bei der gemessenen Temperatur.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Messingzylinder Nr. . . . Wage Nr. . . . Thermometer Nr. . . .
Schublehre Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Temperatur $t = \ldots\ ^0$C.

	Durchmesser d cm	Tiefe h cm
Summe	. . . .	. . . . .
Mittel	. . . .	. . . . .

Halbmesser des Zylinders $r = \ldots$ [cm].
Raum des Wassers $V = \ldots$ [cm³].
Masse des Wassers $m = \ldots$ [gr].
Dichte des Wassers $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm³].

h) Schreibe deinen Namen und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

i) Entleere den Zylinder und trockne ihn sorgfältig. Spüle die Pipette aus und laß das Spülwasser aus dem Hals ausfließen.

Bemerkungen. Man bilde das Mittel aus den Ergebnissen aller Schüler.

Pipetten, Büretten und andere Ausflußgefäße werden leicht fettig. Ein sicheres Mittel, solche Gefäße in Ordnung zu bringen, ist nach Ostwald-Luther *135* eine nötigenfalls erwärmte Lösung von etwas Kaliumdichromat in konzentrierter Schwefelsäure. Auch warme Natronlauge löst organische Fette auf. Man spült wiederholt mit destilliertem Wasser nach. Vgl. auch Dr. H. Göckel, *Zur Behandlung der Meßgeräte, Intern. Kongreß f. angew. Chemie, Rom 1906, Ber. I. 323* und die in seinem Katalog angegebene Literatur.

Pipetten bewahrt man am besten mit dem Schnabel nach oben in Standzylindern auf, deren Boden mit Filtrierpapier bedeckt ist.

Schüler pflegen bei den Übungen Maßstäbe nicht als Schwerter und Schrotkugeln nicht als Wurfgeschosse zu verwenden; einem gebückten Mitschüler aber mit der Pipette einen Tropfen in den Hals fließen zu lassen, ist ein Vergnügen, das sie sich nur schwer versagen können. Macht man sie auf diese Schwäche von vornherein aufmerksam, und sagt man ihnen, daß die Pipette ein Ausflußgefäß und zugleich ein Hilfsmittel zur Unterscheidung alternder Taugenichtse von heranwachsenden Physikern ist, so beugt man ein für allemal jedem Unfug vor.

14. Aufgabe. *Wie groß ist der Raum, den eine gegebene Wassermasse einnimmt?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Enghalsige Flasche ($100\ cm^3$). Feile. Wage. Massensatz. Tarierbecher. Tarierschrot. Fließpapier. Meßzylinder ($250\ cm^3$). Pipette. Spiegel. Trichter. Becherglas ($600\ cm^3$). Pinsel.

Anleitung. **a)** Ritze mit der Feile eine Marke in den Hals der Flasche ein.

b) Tariere die Flasche auf der Wage sorgfältig aus.

c) Stelle die Flasche auf den Tisch und fülle sie so weit mit Wasser, daß die Kuppe genau die Marke berührt, entferne dabei alle Luftblasen durch Schütteln oder mit einem Pinsel oder Draht. Halte beim Einstellen der Wasserkuppe den Spiegel so, daß das Bild der Pupille auf die Marke fällt.

d) Trockne die Flasche außen tüchtig ab und bestimme mit der Wage die Masse (m gr) des Wassers. Wie groß ist der Raum ($V_1\ cm^3$) dieser Wassermasse?

e) Schütte das Wasser, ohne etwas zu vergießen, in einen Meßzylinder und miß seinen Raum ($V_2\ cm^3$). Wie stimmt er mit V_1 überein? Berechne den Unterschied $\Delta V = V_1 - V_2$.

f) Spüle Pipette, Flasche und Meßzylinder sorgfältig aus und stülpe die beiden Gefäße auf das Ablaufbrett.

g) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

Bemerkungen. Man bilde das Mittel aus allen Unterschieden ΔV.

Die Marke am Hals der Flasche stellt man auf folgende Weise her: Man klebt rund um den Hals einen Streifen Papier von 1 cm Breite und ritzt längs seinem Rande mit der Feile oder dem Glasmesser einen Kreis ein

15. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte einer gegebenen Flüssigkeit?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wage.
Massensatz.
Bürette (50 cm^3, geteilt in 0,1 cm^3).
2 Bechergläser (50 cm^3).
Denaturierter Spiritus oder gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat.
Trichter.
Spiegel oder Ableseklemme.
Tarierschrot.
Tarierbecher.
Thermometer.
Fließpapier.

Anleitung. **a)** Reinige das eine Becherglas, trockne es sorgfältig ab, stelle es auf die linke Wageschale und tariere es genau aus.

b) Reinige die Bürette (Fig. 20) und spüle sie zweimal mit der gegebenen Flüssigkeit aus. Fülle die Bürette durch den Trichter mit der Flüssigkeit und nimm dann den Trichter aus dem Hals der Bürette. Laß aus der Bürette in das nicht austarierte Becherglas etwas Flüssigkeit fließen, damit aus der Ausflußröhre alle Luft entfernt wird. Warte etwas und lies dann mit dem Spiegel oder der Ableseklemme den Stand der Flüssigkeitskuppe ab.

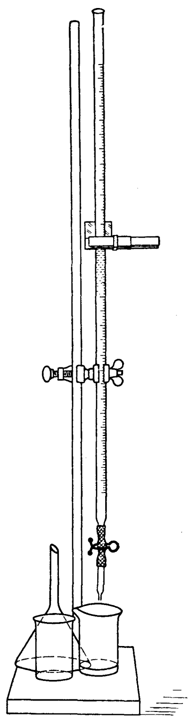

Fig. 20.

c) Laß in das austarierte Becherglas 30 bis 40 cm^3 der Flüssigkeit fließen, verwende dabei keine Mühe darauf, eine runde Anzahl Kubikzentimeter ablaufen zu lassen. Lies mit dem Spiegel nach einigem Warten wiederum den Stand der Flüssigkeitskuppe in der Bürette genau ab. Wieviel Kubikzentimeter Flüssigkeit sind in das Becherglas geflossen? $V\,cm^3$.

d) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse (m gr) der Flüssigkeit und miß dann deren Temperatur.

e) Wie groß ist die Dichte (ϱ gr/cm^3) der Flüssigkeit bei der gemessenen Temperatur?

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Thermometer Nr. . . .
Bürette Nr. . . .

1. Ablesung der Bürette . . . cm^3.
2. Ablesung der Bürette . . . cm^3.

Raum der Flüssigkeit $V = \ldots$ [cm^3].
Masse der Flüssigkeit $m = \ldots$ [gr].
Dichte der Flüssigkeit $\varrho = m/V \ldots$ [gr/cm^3].

g) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

h) Gieße die Flüssigkeit in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Reinige die Bürette und die Bechergläser und stelle sie auf das Ablaufbrett.

2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Enghalsige Flasche (∼ 50 cm³), in deren Hals mit der Feile eine Marke geritzt ist, oder Pyknometer.	Flüssigkeiten wie beim 1. Verfahren.
Wage.	Fließpapier.
Massensatz.	Trichter.
Tarierschrot.	Becherglas.
Tarierbecher.	Pipette.
Destilliertes Wasser.	Thermometer.
	Spiegel.
	Pinsel oder Draht.

Anleitung. **i)** Tariere auf der Wage das leere Fläschchen sorgfältig aus.

k) Fülle mit destilliertem Wasser das Fläschchen genau bis zur Marke, entferne dabei durch Schütteln oder mit einem Pinsel oder Draht die Luftblasen, wische das Gefäß außen sorgfältig trocken und bestimme die Masse des Wassers. Fasse dabei das Fläschchen nur am Hals an, damit es so wenig wie möglich erwärmt wird. Wieviel Kubikzentimeter faßt das Fläschchen bis zur Marke? V cm³.

l) Spüle zweimal mit der gegebenen Flüssigkeit das Fläschchen und die Pipette aus. Fülle dann mit der gegebenen Flüssigkeit das Fläschchen genau bis zur Marke, entferne dabei im Innern alle Luftblasen und auf der Außenseite alle anhaftende Flüssigkeit.

m) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse (m gr) der Flüssigkeit.

n) Miß die Temperatur der Flüssigkeit.

o) Wie groß ist die Dichte der Flüssigkeit bei dieser Temperatur?

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Fläschchen Nr. . . .

Masse des Wassers im Fläschchen . . . gr.
Raum des Fläschchens $V = \ldots$ [cm³].
Masse der Flüssigkeit im Fläschchen $m = \ldots$ [gr].
Dichte der Flüssigkeit $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm³).

q) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

r) Verfahre wie bei (h).

Bemerkungen. Mackenzie *(8)* benutzt beim Ablesen der Bürette einen Schwimmer mit einer Ringmarke (Fig. 21). Ich selbst habe keine Erfahrungen damit gemacht, sondern verwende die Ableseklemmen von Dr. Göckel (Fig. 22). Diese „Meniscus-Visierblenden" (D. R. G. M.) sind zu beziehen von Dr. Heinrich Göckel, Fabrik und Prüfungsanstalt chemischer Apparate, Berlin NW. 6, Luisenstr. 21, ohne Glastafel für 1 M und mit Glastafel für 1,20 M das Stück.

Es empfiehlt sich, nach dem Verfahren von Weinhold, *Phys. Dem. 732* (vgl. auch Hahn, *Freihandversuche 2, 104 Nr. 265*) stets ausreichende Mengen von gesättigten Kochsalz- und Cuprisulfatlösungen vorrätig zu halten.

Beim Verwenden von Cuprisulfatlösung muß man die Schüler zu großer Vorsicht ermahnen, damit sie beim Saugen an der Pipette nicht die giftige Flüssigkeit in den Mund bekommen.

Bei der Benutzung eines Pyknometers achte man darauf, daß die Schüler beim Tarieren den Stopfen aufsetzen.

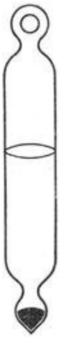

Fig. 21.

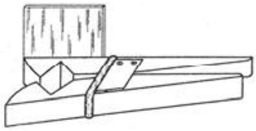

Fig. 22.

Man bilde aus allen Einzelergebnissen das Mittel.

16. Aufgabe. *Wie groß sind der Raum, die Masse und die Dichte eines unregelmäßig gestalteten festen Körpers?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte.	Kieselstein, Schlüssel u. dgl.	Becherglas.
	Wage.	Standzylinder (250 cm³).
	Massensatz.	Trichter.
	Bürette.	Klebepapier.
	Spiegel oder Ableseklemme.	

Anleitung. a) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse (m gr) des Körpers.

b) Lege den Körper in einen Standzylinder, der gerade weit genug ist, ihn aufzunehmen. Fülle mit einer Bürette das Gefäß genau bis zu einer Marke mit Wasser und entferne alle Luftblasen. Entleere den Zylinder und fülle ihn wiederum mit der Bürette bis zur Marke mit Wasser. Das erste Mal sind V_1 cm³ und das andere Mal V_2 cm³ Wasser aus der Bürette geflossen. Welchen Raum nimmt der Körper ein? $V = V_2 - V_1$.

c) Berechne aus der Masse und dem Raum des Körpers seine Dichte.

d) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

Bemerkungen. Bilde das Mittel aus allen Ergebnissen.

Bei Körpern, die in Wasser löslich sind, nimmt man Alkohol, Petroleum, Benzol, Toluol und bei Salzkristallen (z. B. Cuprisulfat) eine gesättigte Lösung des Salzes.

17. Aufgabe. *Wie groß sind der Raum, die Masse und die Dichte von Glasschrot?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Dichtefläschchen (Pyknometer) von 50 cm^3.	Tarierschrot.
Glasschrot (Tariergranaten oder Schrot).	Fließpapier.
Tarierbecher.	Pipette.
	Becherglas.
	Destilliertes Wasser.

Anleitung. **a)** Prüfe, ob der Stopfen zum Dichtefläschchen gehört. Tariere das Pyknometer (Fig. 23) nebst Stopfen auf der Wage aus.

b) Fülle das Dichtefläschchen zur Hälfte mit Glasschrot und bestimme die Massen (m gr) der Kugeln.

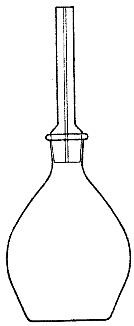

Fig. 23.

c) Fülle das Dichtefläschchen, worin noch das Glasschrot liegt, mit destilliertem Wasser und entferne durch Schütteln oder mit einem Draht die Luftblasen. Reibe mit einer unwägbaren Spur Fett den Stopfen ein, setze ihn auf und tupfe mit einer kleinen Fließpapierspitze das Wasser bis zur Marke aus. Trockne das Dichtefläschchen sorgfältig außen ab.

d) Bestimme mit der Wage die Masse (m_1 gr) von Schrot und Wasser, die das Dichtefläschchen füllt. Welche Masse Beiwasser ist in dem Gefäß? ($m_1 - m$) gr.

e) Entleere das Dichtefläschchen und fülle es wie in (c) genau bis zur Marke mit destilliertem Wasser.

f) Wäge das Wasser im Dichtefläschchen. Die Masse ist m_2 gr. Wieviel Kubikzentimeter Wasser faßt das Dichtefläschchen? V_2 cm^3.

g) Beim Versuch (d) enthielt das Pyknometer ($m_1 - m$) gr Beiwasser. Welchen Raum nahm dies ein? V_1 cm^3. Welchen Raum (V cm^3) erfüllte also das Glasschrot, wenn das Dichtefläschchen im ganzen V_2 cm^3 faßt? $V = V_2 - V_1$.

h) Berechne aus dem Raum und der Masse des Glasschrotes seine Dichte.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Dichtefläschchen Nr. . . .

Masse des Glasschrotes $m = \ldots$ [gr].
Masse des Glasschrotes und des Beiwassers $m_1 = \ldots$ [gr].
Masse des Beiwassers $m_1 - m = \ldots$ [gr].
Raum des Beiwassers $V_1 = \ldots$ [cm^3].
Masse der Wasserfüllung $m_2 = \ldots$ [gr].
Raum der Wasserfüllung $V_2 = \ldots$ [cm^3].
Raum des Glasschrotes $V = V_2 - V_1 = \ldots$ [cm^3].
Dichte des Glasschrotes $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm^3].

k) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

l) Entleere das Dichtefläschchen und gib es dem Lehrer. Trockne das Glasschrot und lege es in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

Bemerkungen. Man berechne aus den Einzelergebnissen den Mittelwert. Man versehe den Stopfen und die Flasche des Pyknometers mit den gleichen Nummern. Es empfiehlt sich, für jedes Pyknometer ein Gegengewicht aus Tapeziererblei oder dgl. anzufertigen, das dieselbe Nummer erhält.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 13, S. 25.

18. Aufgabe. *Wie groß ist die Fläche, die eine beliebig gestaltete Kurve einschließt?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Millimeterpapier (10 cm $\times$ 10 cm).
Bleistift.

Anleitung. **a)** Zeichne auf ein Blatt Millimeterpapier (10 cm $\times$ 10 cm) eine beliebig gestaltete geschlossene Kurve (Fig. 24).

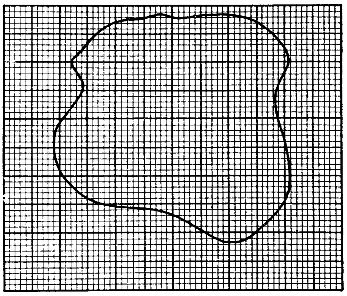

Fig. 24.

b) Zähle die großen Quadrate (cm^2), die vollständig innerhalb der Kurve liegen und umfahre sie mit dem Bleistift.

c) Zähle die kleinen Quadrate (*mm*^{2}), die vollständig innerhalb der Kurve liegen und umfahre auch sie mit dem Bleistift.

d) Zähle die von der Kurve durchschnittenen kleinen Quadrate, die größer als ein halbes Quadrat sind, als vollständige Quadrate und laß die von der Kurve durchschnittenen Quadrate weg, die kleiner als die Quadrathälfte sind.

e) Welcher Bruchteil eines Quadratzentimeters ist ein Quadratmillimeter? Wieviel Quadratzentimeter umgrenzt die Kurve?

2. Verfahren.

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wage.
Massensatz.
Dünner Karton, von überall gleicher Stärke, oder Stanniol.
Nähnadel, deren Öhr in Siegellack eingebettet ist, oder
Pauspapier oder Kohlepapier oder Graphitpapier.
Millimeterstab (30 cm).
Schere.

Anleitung. **a)** Schneide aus dem Karton ein Rechteck (10 cm $\times$ 10 cm), miß die Seiten und bestimme mit der Wage seine Masse. Berechne, wie groß die Fläche ist, deren Masse 1 gr beträgt.

b) Lege das Millimeterpapier mit der Kurve oder eine andere geschlossene Figur auf den Karton und stich mit der Nadel den Umriß durch. Schneide den Karton längs der Stichkurve aus.

c) Bestimme mit der Wage die Masse des ausgeschnittenen Kartonstückes.

d) Berechne mit dem Ergebnis des Versuchs (a) aus der Masse des ausgeschnittenen Kartonstückes dessen Fläche.

Bemerkungen. Man kann den Umriß, anstatt durchzustechen, auch durchpausen.

Auf solche Weise kann man die Größe des Schulgrundstückes, der Stadtmark, der Provinz, des Deutschen Reiches, ebenso die geometrischen Sätze über Flächengleichheit, z. B. den Pythagoreischen Lehrsatz usw. bestimmen, lauter Aufgaben, die auf die Schüler einen großen Reiz ausüben.

Die Aufgaben 18 und 19 kann man gleichzeitig verschiedenen Gruppen zuweisen.

19. Aufgabe. *Kann man mit der Wage die Zahl π bestimmen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Dünner Karton von überall gleicher Stärke. Schere. Zirkel. Millimeterstab (30 cm). Wage. Massensatz.

Anleitung. a) Schneide ein Kartonstück von $\sim$ 20 cm $\times$ 20 cm aus, miß die Seiten und berechne die Fläche. Wäge das Quadrat und berechne, wie groß die Fläche ist, deren Masse 1 gr beträgt.

b) Zeichne auf das Kartonstück einen Kreis von $\sim$ 16 cm Durchmesser. Miß den Durchmesser nochmals und berechne den Halbmesser. Schneide den Kreis aus und wäge ihn. Berechne aus der gefundenen Masse mit dem Ergebnis von (a) die Fläche des Kreises.

c) Zeichne auf der Kreisscheibe einen konzentrischen Kreis von kleinerem Halbmesser und verfahre wie in (b). Wiederhole die Messungen mit mehreren noch kleineren konzentrischen Kreisen.

d) Teile die erhaltenen Kreisflächen durch die Quadrate ihrer Halbmesser und nimm aus den erhaltenen Quotienten das Mittel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Masse des Kartons . . . . gr.
Fläche des Kartons . . . . cm². Fläche von 1 gr Karton . . . . cm².

Durchmesser des Kreises d cm	Halbmesser des Kreises r cm	Masse des Kreises m gr	Fläche des Kreises f cm²	$\frac{f}{r^2}$
			Mittel	. . . . .

f) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

Bemerkungen. Auf ähnliche Weise kann man die Formel zur Berechnung der Fläche der Ellipse usw. bestätigen.

Die Aufgaben 18 und 19 kann man gleichzeitig verschiedenen Gruppen zuweisen.

20. Aufgabe. *Wie dick ist ein Stanniolblatt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Stanniol. Millimeterstab (30 cm). Eiserner Winkel. Schere.	Wage. Massensatz. Mikrometerschraube.

Anleitung. **a)** Schneide aus Stanniol ein Quadrat von ~ 10 cm Seitenlänge. Miß die Seiten genau und berechne den Flächeninhalt f cm².

b) Bestimme mit der Wage die Masse (m gr) des Stanniols.

c) Wie groß ist der Raum (V cm³) des Stanniols, wenn seine Fläche f cm² und seine Dicke h cm ist?

d) Schlage nach, wie groß die Dichte (ϱ gr/cm³) des Zinns ist. 7,3 gr/cm³.

e) Welche Beziehung besteht zwischen m, V und ϱ? Wie hängt V von f und h ab?

f) Leite eine Formel ab, die gestattet, h durch m, ϱ und f auszudrücken. Berechne damit h.

g) Falte das Stanniolquadrat zusammen, so oft wie es geht, und zähle dabei sorgfältig die Anzahl der Schichten. Drücke die Lagen ganz fest zusammen. Laß den Lehrer mit der Mikrometerschraube die Dicke aller Schichten messen. Wieviel Schichten liegen aufeinander? Wie dick ist also das Stanniol?

h) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

Bemerkungen. Man bilde das Mittel aus den Dicken, die mit der Wage, und aus den Dicken, die mit der Mikrometerschraube gefunden wurden, und berechne den Unterschied beider Mittel. Diese Aufgabe macht stets einen tiefen Eindruck auf den Schüler. Sie zeigt wirksam, welch feines Werkzeug die Wage ist.

21. Aufgabe. *Kann man mit der Wage die Dicke eines Drahtes messen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Kupferdraht von 0,5 bis 1 mm Durchmesser. Meterstab. Beißzange.	Wage. Massensatz. Mikrometerschraube.

Anleitung. **a)** Schneide ~ 100 cm Draht ab. Richte ihn gerade aus und miß genau seine Länge l cm.

b) Wie groß ist der Querschnitt (q cm²) des Drahtes, wenn sein Halbmesser r cm beträgt? Wie groß ist der Raum (V cm³) des Drahtes?

c) Bestimme mit der Wage die Masse (m gr) des Drahtes.

d) Schlage nach, wie groß die Dichte (ϱ gr/cm^3) des Kupferdrahtes ist. 8,9 gr/cm^3.

e) Welche Beziehung besteht zwischen m, ϱ und V? Wie hängt V von r und l ab?

f) Leite eine Formel ab, die gestattet, r durch m, ϱ und l auszudrücken. Berechne damit den Halbmesser r cm und den Durchmesser d cm des Drahtes. Wieviel Millimeter ist der Draht stark?

g) Miß mit der Mikrometerschraube an drei Stellen je zwei Durchmesser, die aufeinander senkrecht stehen, und nimm das Mittel daraus. Vergleiche damit die Größe des Durchmessers, den die Wägung lieferte.

h) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 20.

Zweiter Teil.

Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

A. Gleichgewicht der festen Körper.

I. Kraft.

1. Aufgabe. *Hängt die Verlängerung einer Spiralfeder von der Belastung ab?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Spiralfeder (vgl. S. 38).	Pinsel.
	Leichte Wageschale.	Bunsengestelle.
	Maßstab.	Verbindungsklemme.
	Ablesespiegel.	Millimeterpapier.
	Gewichtsatz.	

Anleitung. a) Befestige die Spirale am Gestell und stelle oder hänge den Maßstab so auf, daß seine Teilung der Federachse parallel läuft.

b) Hänge in den Haken am untern Ende der Feder die Schale, halte die Hand flach darunter und setze behutsam auf die Mitte der Schale 30 gr*, bewege die Hand langsam nach unten und gib so die Schale allmählich frei (Fig. 25). Beruhige mit der Hand oder dem Pinsel die Schwingungen der Spirale und lies mit dem Spiegel, den man so hält, daß das Spiegelbild des Auges mit dem abzulesenden Strich zusammenfällt, die Stelle des Maßstabes ab, wovor der Zeiger der Feder schwebt. (In der Figur ist ein Spiegelmaßstab gezeichnet). Sollte die Spirale noch etwas schwingen, so lies die beiden Umkehrpunkte ab und nimm daraus das Mittel. Die Ablesung liefert die Nullstellung (x_0 cm) des Zeigers.

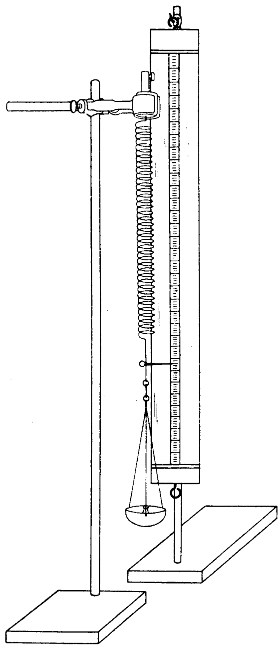

Fig. 25.

c) Lege behutsam ein 5 gr*-Stück hinzu und lies wiederum die Stellung (x cm) des Zeigers ab. Der Unterschied der beiden Ablesungen $\lambda = (x - x_0)$ [cm] ist die Längenänderung, die die Belastungszulage 5 gr* erzeugt hat. Nimm das Gewicht weg und lies wiederum die Nullstellung ab. Hat sie sich geändert?

d) Vermehre die ursprüngliche Belastung der Schale der Reihe nach um 10, 15, 20, 30, 35, 40, 45 und 50 gr*. Verfahre dabei genau wie in (c) und bestimme jedesmal auch die Nullstellung.

e) Vermindere die Belastung der Schale in Stufen von 5 gr* bis auf 30 gr* und verfahre genau wie in (c).

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Spiralfeder Nr. . . . Kraftkonstante der Feder $k = \ldots$ [gr*/cm].
Größte zulässige Belastung . . . gr*.
Schale Nr. . . . Gewicht der Schale . . . gr*.

Belastungs-änderung F gr*	Null-stellung (x_0) des Zeigers vor der Belastungs-änderung		Stellung (x) des Zeigers nach der Belastungs-änderung F		Längenänderung $\lambda = (x - x_0)$ [cm]			Kraft-konstante $k = \frac{F}{\lambda}\left[\frac{gr^*}{cm}\right]$
	vor-wärts	rück-wärts	vor-wärts	rück-wärts	vor-wärts	rück-wärts	Mittel	
Mittel							Mittel	. . . . .
Hauptmittel								

g) Stelle die Ergebnisse graphisch dar. Wähle dabei F als Abszisse und λ als Ordinate. Zeichne mit einem durchsichtigen Dreieck aus Zelluloid oder einem schwarzen Faden eine Gerade, die am wenigsten von den erhaltenen Punkten abweicht.

h) Welche Belastungsänderung bewirkt eine Längenänderung der Feder um 1 cm? *Kraftkonstante der Spirale oder Federkonstante.* Bleibt die Nullstellung unverändert? *Bleibende Verzerrung* oder *Rückstand. Größte zulässige Verlängerung. Größte zulässige Belastung.*

i) Befestige mit Reißnägeln auf dem Rücken des Maßstabes einen Streifen Papier. Markiere darauf den Stand des Zeigers, wenn die Schale mit 30 gr* belastet ist, und wenn zu dieser Belastung der Reihe nach 5, 10, 15 usw. bis 50 gr* hinzugefügt werden. *Kraftmesser (Dynamometer).*

2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Guillaume *(Sèvres)* bei Abraham *1, 82 Nr. 40 und* Schreber-Springmann *1, 45 Nr. 46.*

Geräte. Spiralfeder aus Stahldraht von 1 mm Durchmesser, 100 Windungen von 1 cm Durchmesser.

Geräte. Holzleiste (50 cm × 1 cm × 1 cm). | Lot.
Leichte Wageschale. | Zeichendreieck.
Gewichtsatz. | Millimeterpapier.

Anleitung. k) Hänge die Spiralfeder an den Haken A im Wandbrett (Fig. 26). Bohre bei B in 5 cm Abstand vom Ende D ein Loch in die Leiste, das 2 mm weit ist, und befestige mit einem Stahldraht, der durch das Loch geht, die Leiste an der Feder. Hänge im Punkt C, der 1 cm von D absteht, die Wageschale E an. Schiebe über die Leiste eine lose Fadenschleife F, woran ein 100 gr*-Stück hängt. Hefte auf das Wandbrett ein Blatt Millimeterpapier derart, daß die Linien teils lotrecht, teils wagerecht liegen.

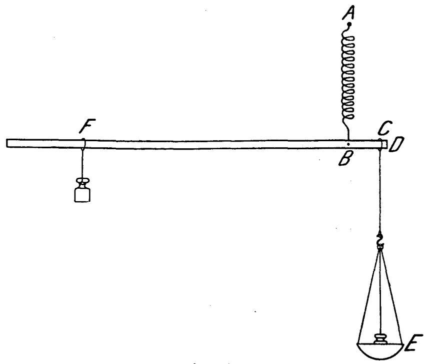

Fig. 26.

l) Setze auf die Schale ein 100 gr*-Stück und verschiebe das bewegliche Gewicht, bis die Holzleiste parallel den wagerechten Linien des Millimeterpapiers liegt. Halte das Zeichendreieck über die Stelle der Leiste, wo das Laufgewicht hängt, und projiziere den Punkt F auf das Millimeterpapier. Schreibe an den so erhaltenen Punkt die Belastung auf der Schale.

m) Vermehre die Belastung in Stufen von 100 gr* und nimm den Ort der Punkte F auf.

n) Entlaste die Schale in Stufen von 100 gr* und verfahre wie bei (l) und (m).

o) Die wagerechten Verschiebungen von F verhalten sich wie die Änderungen der Belastungen und die lotrechten Verschiebungen wie die Längenänderungen der Feder. Wie verhalten sich nach der erhaltenen Kurve die Streckungen zu den Belastungen?

p) Bestimme den Flächeninhalt der so erhaltenen Kurve und ermittele daraus die Arbeit, die zur Verzerrung der Feder verbraucht worden ist.

Bemerkungen. Eine Spiralfeder, die aus Draht von d cm Durchmesser gefertigt und ν Windungen von r cm Halbmesser hat, dehnt sich bei der Belastung mit F Dyne um die Länge

$$x = \frac{64\,\nu r^3}{[\mathrm{G}]\,d^4}\,F\ [\mathrm{cm}]$$

aus, wo [G] den Schub-Elastizitätsmodul in absolutem Maß bezeichnet.

Die Kraftkonstante der Feder ist

$$k = \frac{F}{x} = \frac{[\mathrm{G}]\,d^4}{64\,\nu r^3}\,[\mathrm{Dyne/cm}].$$

Ist T die in absolutem Maß gemessene größte zulässige Schubspannung, so ist die **größte zulässige Ausreckung** der Feder

$$x_{max} = \frac{4\pi v r^2}{[G]\,d}\,T\,[\mathrm{cm}]$$

und die größte zulässige Belastung

$$F_{max} = \frac{\pi d^3}{16\,r}\,T\,[\mathrm{Dyne}].$$

Vgl. J. Perry, *Applied Mechanics 630.* J. H. Poynting-J. J. Thomson, *Properties of Matter*[1] *103.* Föppl, *Techn. Mechanik*[1] *3, 334.* Love-Timpe, *Lehrb. d. Elastizität 474.*

Es ist [G] für gehärteten Gußstahl $8{,}9 \cdot 10^{11}$ und für Messing 3,44 bis $4{,}03 \cdot 10^{11}$ Dyne/cm² und T für gehärteten Gußstahl 0,41 bis $0{,}48 \cdot 10^{9}$ und für Messing $3{,}59 \cdot 10^{8}$ Dyne/cm². Doch haben diese Zahlen oft nur eine recht bedingte Gültigkeit; sie ändern sich erheblich mit der Zusammensetzung und der Vorgeschichte des Stoffes.

Die beim **ersten Verfahren** benutzte **Spiralfeder** ist aus englischem hartgezogenem Klaviersaitendraht (Music Wire) von 1,02 mm Durchmesser gefertigt. Sie hat 100 Windungen von 1 cm Halbmesser. Das obere Ende der Feder ist ∼ 5 cm weit gerade gestreckt. Es ist ratsam, dieses Stück zwischen zwei Korkstücke in eine Klemme des Gestelles einzuspannen und oben eine galvanische Klemmschraube zu befestigen, um zu verhindern, daß sich bei der Belastung die Befestigungsstelle der Feder senkt. Das untere Ende der Feder ist ebenfalls ∼ 5 cm weit gerade und läuft dann in eine Öse aus, in die man die Wageschale einhängt. Die geraden Enden müssen in der Achse der Spirale liegen. Die beiden Endpunkte der Windungen verbindet man innerhalb der Spirale durch einen Faden, der verhindert, daß die Feder über die größte zulässige Länge hinaus verzerrt wird. Die Länge des Fadens bestimmt man, indem man die Feder mit einem Gewicht belastet, das etwas kleiner als die zulässige größte Belastung ist. Den **Zeiger** Z kann man, wie Fig. 27 zeigt, auf die mannigfachste Weise herstellen: Man biegt z. B. aus dem Ende des Drahtes eine Öse und einen Zeiger. Man lötet auf den untern geraden Teil des Drahtes den Zeiger oder schiebt über das Drahtende einen Kork und steckt durch ihn eine Nähnadel. Man kann auch zwischen die Öse am Ende der Feder und den Haken der Wageschale einen Faden einschalten, mit einem Knoten darin, der als Marke dient, oder, was viel besser ist, nach Noack, *Aufgaben 15 Nr. 16,* statt des Fadens mit Knoten ein Glasscheibchen benutzen, das mit einem wagerechten Diamantstrich und mit Haken versehen ist. Einfacher ist es, über einen flachen **leichten** Ring wagerecht einen Draht zu löten und an dem Ringe oben und unten einen Haken anzubringen. Man kann aber auch irgend eine bestimmte Stelle der Schale oder Spirale als Marke verwenden.

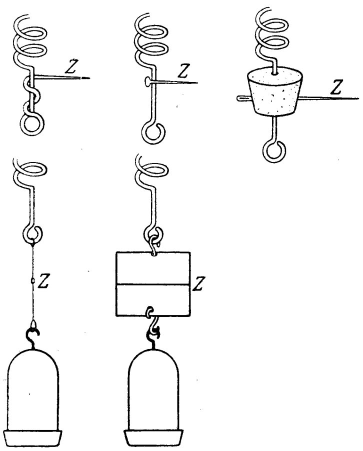

Fig. 27.

Als **Maßstab** benutzt man einen 5 cm breiten und 60 cm langen Streifen Spiegelglas, auf den man eine Millimeterskala klebt. Den Spiegelstreifen befestigt man auf einem Holzbrett. Den Maßstab hängt man mit einer Öse auf oder befestigt ihn mit Kautschukringen oder Photographenklammern an einem Gestell. Besser, jedoch teurer ist eine direkte Teilung auf Spiegelglas. Benutzt man einen gewöhnlichen Meterstab, so muß man mit einem Ablesespiegel den Fehler vermeiden, der aus der Parallaxe stammt.

Worthington *(94 Nr. 9)* benutzt folgenden Kraftmesser (Fig. 28): Auf eine dünne Leiste aus trockenem Holz von ∼ 3 cm Breite und ∼ 50 cm Länge klebt man eine Millimeterskala (sie ist in der Figur weggelassen) und befestigt mit starkem Zwirn an dem Reißnagel *C* ein Stück Kautschukschnur von quadratischem oder auch rundem Querschnitt, in das man drei fest zugezogene Knoten gemacht hat. Bei der Messung schwacher Kräfte benutzt man den untersten Knoten und bei der Messung stärkerer Kräfte die beiden obern. Am untern Ende *E* der Schnur befestigt man mit einem Haken eine Pillenschachtel, die an drei Fäden hängt und deren Gewicht man auf eine runde Zahl, 10 oder 20 gr*, abgeglichen hat. Mit zwei Kraftmessern, deren Fäden 1,2 mm und 2 bis 4 mm breit sind, kann man Kräfte zwischen 15 und 400 gr* messen. Will man diesen Kraftmesser in wagerechter Stellung verwenden, so treibt man an den Stellen *A*, *B* und *D* Nadeln so weit durch das Holz, daß die Spitzen ∼ 2 mm weit herausragen und kneift mit der Zange die obern Teile ab. Die Ausdehnung der Kautschukschnüre ist freilich nicht so gleichmäßig wie die der Spiralfedern.

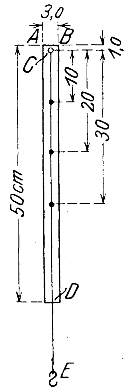

Fig. 28.

Auch beim zweiten Verfahren kann man anstatt der Feder einen Kautschukring verwenden.

Anstatt der Kautschukfäden und Spiralfedern kann man auch kreisförmige Federn benutzen, die als „Hosenspangen" für 10 Pf. das Paar in jedem Fahrradgeschäft zu haben sind.

Über andere einfache Kraftmesser, die man selbst herstellen kann, vgl. Abraham *1, 82 Nr. 41.* Hahn, *Freihandversuche 1, 50 Nr. 55 u. 56, 84 Nr. 140—143.* Hortvet *73.* Rintoul *114.* F. C. G. Müller, *Technik d. phys. Unterr. 28.* Schreber-Springmann *1, 44 Nr. 44.* Watson, *Elem. Pract. Phys. 69 Nr. 54 und 233 Nr. 54.*

Am besten mißt man eine Kraft, indem man ihre Wirkung durch ein Gegengewicht aufhebt. Muß man dabei die Zugrichtung durch Rolle und Schnur ändern, so beeinträchtigt dies die Bequemlichkeit des Verfahrens und die Genauigkeit der Ergebnisse. Am bequemsten mißt man die Kräfte mit Federwagen und, wenn die Kräfte schwach sind, mit Kautschukschnüren. Benutzt man bei demselben Versuch gleichzeitig Gewichtstücke und Federwagen, so mißt man auch die Zugkräfte der Gewichtstücke mit den Federwagen.

2. Aufgabe. *Ist es gleichgültig, ob man eine Federwage allmählich oder plötzlich belastet?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Wells *79 Nr. 1.*

Geräte. Federwage bis 10 kg*, geteilt in $^1/_4$ kg*. Gewichtstücke mit Ring von 1, 2 und 5 kg*. | Streifen aus dünnem Messingblech von ∼ 0,3 cm Breite. Gestell.

Anleitung. a) Hänge die Wage frei mit dem Ring an den Haken des Gestelles, klopfe gegen das Gehäuse und lies den Zeiger ab, während die Wage unbelastet ist. *Nullfehler* F'_0 kg*.

b) Hänge 1 kg* ganz langsam und ruhig an den Haken der Wage, klopfe, sobald sich die Wage beruhigt hat, gegen das Gehäuse und lies die Stellung des Zeigers F' kg* ab. Entlaste die Wage und lies wiederum die Nullstellung ab.

c) Wiederhole die Versuche mit 2 und 5 kg*.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Federwage Nr. . . . Art der Belastung . . . .

Belastung F kg*	Nullstellung F_0' kg* vor der Belastung	Zeigerablesung F' kg*	Unterschied der Zeigerablesungen $F' - F_0'$
1			
2			
5			

e) Biege einen Streifen Messingblech so um die Vorderseite der Wage, daß sein oberer Rand den Zeiger der Wage berührt und ein Bügel entsteht, den der Zeiger bei seiner Bewegung fortschiebt, und der nach dem Aufhören der Bewegung in der Stellung bleibt, wo ihn der Zeiger hingeschoben hat.

f) Setze das 1 kg*-Stück so auf die flache Hand, daß sein Ring den Haken der Wage berührt, lege den Ring über den Haken und bewege die Hand plötzlich nach unten. Lies, sobald das Gewicht zur Ruhe gekommen ist, die Stellung des obern Blechrandes ab.

g) Wiederhole den Versuch mit dem 2 und dem 5 kg*-Stück.

h) Schreibe die Ergebnisse wie bei (d) auf.

i) Vergleiche die entsprechenden Werte von $F'-F'_0$ in beiden Versuchsreihen. Welche Verhaltungsmaßregel ist also bei Belastungen von Körpern stets zu befolgen?

Bemerkungen. In den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen in der Alten Urania benutzen wir jetzt bei den mechanischen Versuchen folgende Federwagen, die von George Salter & Co. zu West Bromwich bezogen worden sind:

Sorte	Meßbereich in kg*	Teilung in kg*
Brass Sportman's Balances Nr. 15 (Fig. 29) . . .	10	$^1/_4$
,, ,, ,, ...	5	0,1
,, ,, ,, ...	4	0,1
Best Balances Nr. 1 (Fig. 30)	10	0,1
New Circular Balances Nr. 80 (Fig. 66)	20	0,05

Von diesen Wagen eignen sich die Sportman's Balances trefflich zu den Übungen. Die Best Balances Nr. 1 sind dafür etwas zu groß, und es dürften, wenn man auch diese Form verwenden will, vielleicht die Light Balances Nr. 2 zweckmäßiger sein, doch kann ich darüber aus eigener Erfahrung kein Urteil abgeben. Die runden Federwagen werden bei den Aufgaben 22 und 26 benutzt.

Die in Deutschland üblichen und allein eichfähigen Formen der Gewichtstücke sind für die Versuche in der Mechanik nicht so zweckmäßig wie die Gewichte mit Ring- oder Stabgriff, die man in England dazu verwendet. Die Firma George Salter & Co. war so entgegenkommend,

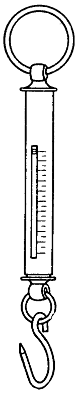

Fig. 29.

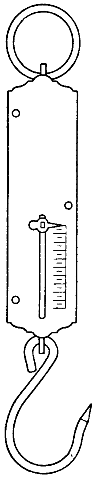

Fig. 30.

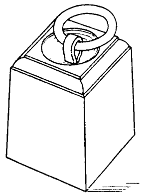

Fig. 31.

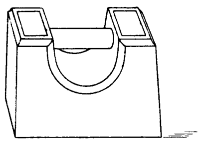

Fig. 32.

eigens für die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse solche Gewichte von 1 bis 20 kg* zu gießen. Die Ringgewichte (Square Ring Weights Nr. 11, Fig. 31) lassen sich bequem an die Haken von Schnüren usw. hängen und die Stabgewichte (Bar Weights Nr. 7, Fig. 32) sehr vorteilhaft auf Wageschalen packen. Diese Gewichtsformen haben sich durchaus als zweckmäßig und bequem bewährt.

Als Gewichtstücke von 0,1 bis 0,5 kg* verwende man Eisenscheiben und als Gewichtstücke von 0,01 bis 0,05 kg* Messingscheiben.

3. Aufgabe. *Es sind die Fehler einer Federwage zu bestimmen.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Hall, *Descript. List 13 Nr. 12.* Smith-Hall, *The Teaching of Chemistry and Physics 255.*

Geräte.

Federwage bis 10 kg*, geteilt in 0,1 kg*.	Bunsengestell oder Zwinge mit Haken.
Wageschale.	Tafelwage.
Gewichtsatz, der bis auf ein Hundertel des kleinsten Gewichtstückes genau ist.	Schrot oder Stanniol oder Bleifolie.
Streifen aus dünnem Messingblech.	Millimeterpapier.
	Papier.
	Schere.
	Klebwachs.

Anleitung. **a)** Biege das Messingblech (Fig. 33) längs DD um und drücke es so zurecht, daß es das Gehäuse der Wage umfaßt und in jeder beliebigen Stellung festsitzt. DC soll so lang sein, daß C nahezu den Zeiger berührt.

b) Hänge die unbelastete Wage lotrecht frei auf. Schiebe die Blechklammer so weit nach oben oder unten, daß einer ihrer Ränder mit der Spitze oder dem Rande des Wagezeigers zusammenfällt (Fig. 34). Liegt der Zeiger über dem Nullstrich, so ist der Fehler

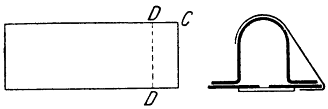

Fig. 33.

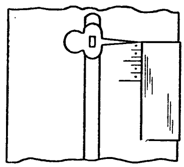

Fig. 34.

positiv, steht der Zeiger aber unter dem Nullstrich, so ist der Fehler negativ zu nehmen. Die Zeigerstellung liefert den wahren Nullpunkt für die lotrechte Stellung der Wage.

c) Wäge die Schale und lege so viel Schrot, Stanniol- oder Bleiblatt darauf, daß ihr Gewicht genau 0,1 oder 0,2 kg* beträgt. Hänge die so abgeglichene Schale an die Federwage und lege so viel Gewichte hinein, daß die Wage insgesamt mit 5 kg* belastet wird. Stelle die Blechklammer ein und bestimme die Stellung x' des Blechrandes und nach Größe und Sinn die Abweichung y vom Teilstrich $x = 5$ [kg*].

d) Vermehre allmählich die Last in Stufen von je 0,5 kg* bis auf 9,5 kg* und bestimme wie in (c) jedesmal den Fehler dem Sinn und der Größe nach.

e) Führe die Messungen (c) und (d) in umgekehrter Reihenfolge aus. Belaste die Wage mit 9,5 kg*, entlaste sie in Stufen von je 0,5 kg* bis auf 5 kg* und bestimme dann nochmals den Nullpunkt.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Federwage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . . Wageschale Nr. . . .

Belastung in kg*	Entsprechender Teilstrich x der Federwage	Stellung x' des Zeigers			Fehler der Wagenangabe $y = x - x'$	Belastung F kg*, die wirklich dem Teilstrich x entspricht, $F = x + y$
		vorwärts	rückwärts	Mittel		

g) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei die Teilstriche x als Abszissen und die Fehler y als Ordinaten. Bestimme aus der *Fehlerkurve* die Verbesserungen für die Teilstriche 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9 und 9,5 kg* der Wageteilung. Nimm die Teilstriche der Wage als Abszissen und die wahren Belastungen F kg* als Ordinaten und entwirf so die *Eichkurve* der Wage. Schreibe auf das Blatt die Nummern der Wage und des Gewichtsatzes.

h) Befestige mit Klebwachs einen Streifen Papier auf der Wageteilung, wiederhole die Versuche (a) bis (e), doch ziehe bei jeder Einstellung mit einem scharfen Bleistift einen Strich längs dem Rande der Blechklammer und stelle so eine neue Teilung für die Wage her.

i) Bestimme mit der Federwage das Gewicht eines Körpers (5 bis 9,5 kg*).

k) Hängt die unbelastete Wage lotrecht an ihrem Ringe, so trägt die Feder das Gewicht von Stange und Haken. Ist das auch der Fall, wenn die Wage horizontal liegt? Lege die Wage mit dem Rücken flach auf den Tisch, laß den Haken frei über den Tischrand hinunterhangen, klopfe mehrmals gegen das Gehäuse und lies die Stellung F_h des Zeigers ab. Wahre Nullstellung für die wagerechte Stellung der Wage. Wie groß ist das Gewicht von Haken und Stange? Liest man bei der wagerechten Stellung der Wage am Zeiger die Belastung F'' kg* ab, so ist die wirkliche Belastung der Wage $F = (F_h + F'')$ [kg*].

l) Ist der Schlitz der Wage so kurz, daß der Zeiger bei wagerechter Stellung der Wage nicht seine wahre Nullstellung einnehmen kann, so befestige am Haken eine Schnur, führe diese über eine leicht laufende Rolle und belaste sie so weit, daß sich der Zeiger auf den wahren Nullpunkt der Teilung für die lotrechte Lage der Wage einstellt. Die Belastung liefert den Wert von F_h.

m) Drehe die zu prüfende Federwage so um, daß ihr Haken oben liegt, und hänge sie an eine andere gleiche Wage, die die gewöhnliche lotrechte Stellung hat. Die Feder der obern Wage wird vom Gewicht ihrer Stange und ihres Hakens, außerdem vom Gewicht der ganzen untern Wage, d. h. vom Gewicht des Gehäuses, der Stange und des Hakens dieser Wage gespannt. Die Feder der unteren Wage wird nur vom Gewicht ihres Gehäuses gespannt. Folglich ist das Gewicht F_h der Stange und des Hakens der untern Wage gleich dem halben Unterschied der Ablesungen an beiden Wagen, wenn diese in lotrechter Stellung richtig geeicht sind.

n) Nimm für die wagerechte Stellung der Wage die Fehlerkurve und die Eichkurve auf.

o) Hänge die Wage am Haken lotrecht auf und belaste sie am Ringe mit Gewichten oder befestige den Haken unten, knüpfe an den Ring eine Schnur, führe diese lotrecht nach oben über eine Rolle und belaste ihr freies Ende. Welchen Einfluß hat in diesen beiden Fällen das Gehäuse der Wage? Nimm die Fehlerkurve und Eichkurve für diese Stellung der Wage auf.

Bemerkungen. Ist die Teilung einer Federwage ganz schlecht, so schmirgelt man sie etwas ab, klebt ein Stück weißes Papier darüber und eicht sie von neuem.

Bei runden Federwagen gibt man der Blechklammer eine etwas andere Gestalt. Das Blech muß man so biegen, daß die Schraubenköpfe auf der Teilung die Verschiebung nicht hindern.

Verwendet man eine Federwage nicht in der lotrechten Stellung, mit dem Haken nach unten gekehrt, so ist stets das Gehäuse zu stützen, damit die Reibung zwischen Feder und Gehäuse keinen Fehler bewirkt.

Über den Gebrauch der Federwagen zur Messung von Kräften, die nicht lotrecht nach unten wirken, geben Ames und Bliss *(125)* folgende Erläuterungen:

Eine Federwage ist so geeicht, daß sie das Gewicht eines Körpers, der an ihrem Haken hängt, genau angibt. Hängt am Haken das Gewicht F, so liest man an der Wage F' ab. Die Kraft aber, die auf die Feder wirkt, ist $F + F_h$, wo F_h das Gewicht von Haken, Stange, Zeiger usw. der Wage bezeichnet. Hängt man das Gewicht an eine Schnur, die über eine reibungslose Rolle führt, und hält man es mit der wagerecht gelagerten Federwage fest, so wirkt auf die Feder das Gewicht F, vermindert um das Gewicht F_h des Hakens usw. und man liest daher F'' ab. Kehrt man nun die Federwage mit dem Ringe nach unten, so daß sie lotrecht nach unten zieht, so lastet der Haken usw. nicht mehr auf der Feder, sondern hebt noch weitere F_h Einheiten des Gewichts F auf. Es wirkt also jetzt die Kraft $F - 2F_h$ auf die Feder und man liest an der Wage F''' ab. Es ist also in diesen drei Fällen:

$$F = F' = F'' + F_h = F''' + 2F_h.$$

Bildet die Richtung der Schnur, die am Haken zieht, mit der lotrechten Richtung den Winkel φ, so ist die Zugkraft in der Schnur $F_a + (1 - \cos\varphi)\, F_h$. Bei allen Kraftmessungen läßt man die Kraft am Haken angreifen und fügt zur Ablesung F_a noch $(1 - \cos\varphi)\, F_h$ hinzu. Will man für eine Federwage F_h finden, so hängt man ihren Ring an einen Nagel und an ihren Haken ein Gewicht und liest ab, dann dreht man die Wage um, hängt ihren Haken an den Nagel und das Gewicht an den Ring und liest wieder ab. Bezeichnet $[F_w]$ das Gewicht der ganzen Wage, so ist der Unterschied zwischen den beiden Ablesungen $[F_w - 2F_h]$. Man findet $[F_w]$, indem man die Federwage mit einer andern Federwage wägt. Da eine Federwage oft sehr kleine Kräfte nicht genau mißt, so hängt man zuerst die Wage und ein Gewicht und dann das Gewicht allein an die andere Wage.

II. Änderung der Größe und Gestalt von belasteten festen Körpern.

4. Aufgabe. *Wie verhält sich ein dünner Draht, der allmählich so weit belastet wird, daß er zerreißt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *81 Nr. 2.*

Geräte. Verzinkter Eisendraht von 1 mm Durchmesser, frei von Drill und Knick.
Bügel mit durchbohrtem Querstab.
Keil.
Hammer.
Tiefenlehre mit Ansatz.
Mikrometerschraubenlehre.
Millimeterpapier.
Große Wageschale von 36 cm Durchmesser.
Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2, 5, 10, 20 und 20 kg*.
Millimeterstab.
Tafelwage.
Gewichtsatz.
Drahtzange.
Beißzange.
Kasten mit Sägemehl.
Schnittbrenner.
Gasschlauch.

Anleitung. **a)** Befestige mit einem Keil den Bügel an einem Wandgalgen. Wickele das eine Ende des Drahtes mehrmals um den runden Querstab des Bügels, ziehe es dann durch das Loch des Querstabes, winde es nunmehr um einen Schenkel des Bügels und binde es schießlich um den Querstab fest (Fig. 35).

b) Wickele das untere Drahtende mehrmals um den Haken der Wageschale und dann um sich selbst. Der Boden der Schale soll höchstens 20 cm über dem Sägemehl in dem untergestellten Kasten hangen.

c) Miß mit der Mikrometerschraubenlehre an verschiedenen Stellen in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen den Durchmesser des Drahtes. Vgl. Teil 1, Aufg. 8, S. 17.

d) Sieh nach, ob der Draht ganz gerade hängt und frei von scharfen Biegungen und Schleifen ist. Schraube die Tiefenlehre so an, daß der Abstand zwischen den Befestigungsstellen genau 25 cm ist, und lies den Nonius ab.

e) Lege langsam und sorgfältig Gewichte, und zwar jedesmal 5 kg*, bis zur Gesamtbelastung 10 kg* auf und lies nach jeder Belastungsänderung den Nonius ab.

f) Entferne langsam alle Gewichte, warte 1 bis 2 Minuten und lies dann den Nonius ab.

g) Setze die Gewichte genau wie vorher wieder auf die Schale, lies jedesmal den Nonius ab und steigere die Belastung auf 20 kg*.

h) Nimm langsam die Gewichte ab und lies nach 1 bis 2 Minuten den Nonius ab.

i) Lege die Gewichte genau wie vorher wieder auf, lies jedesmal den Nonius ab und steigere die Belastung auf 30 kg*. Bemerkt man, daß sich der Draht bei einer Belastungsvermehrung von 5 kg* stärker als vorher ausdehnt, so lege man von da ab jedesmal nur 2 kg* zu und etwas später jedesmal nur noch 1 kg*, bis der Draht zerreißt. Beobachte zuletzt den Nonius andauernd recht sorgfältig, damit die Ausdehnung bei der letzten Belastung noch abgelesen werden kann. Beachte, daß die *Bruchbelastung* gleich ist der Summe von dem Gewicht der Wageschale und den Gewichten auf der Schale.

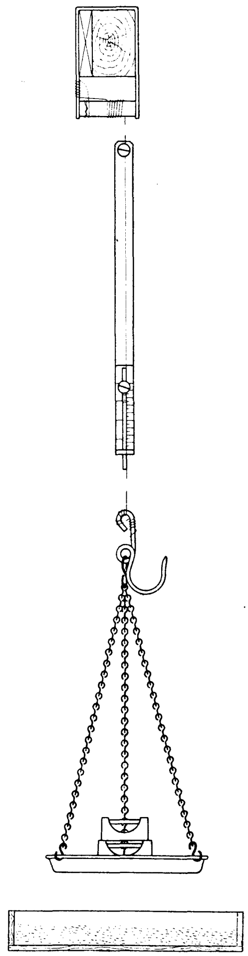

Fig. 35.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . . Draht vom Durchmesser . . . mm. Querschnitt $q = \ldots$ [mm²].
Länge des Drahtstückes, dessen Ausreckung gemessen wird, $l = \ldots$ [mm].

Nullpunkt des Nonius . . . mm. Schale Nr. . . . Gewicht der Wageschale $F_0 = \ldots$ [kg*].

Belastung der Wageschale F' kg*	Gesamtbelastung $F = F' + F_0$	Spannung $p = F/q$ [kg*/mm²]	Ablesung am Nonius in mm	Längenänderung λ mm	Dehnung $\frac{\lambda}{l}$

Elastizitätsgrenze (aus der Spannungskurve entnommen) $= \ldots$ [kg*/mm²] $= \ldots$ [Dyne/cm²].
Zerreißfestigkeit $F_{max}/q = \ldots$ [kg*/mm²] $= \ldots$ [Dyne/cm²].
Längenänderung gerade vor dem Zerreißen $= \ldots$ mm.
Längenänderung in Hundertel der ursprünglichen Länge $= \ldots$ %.

Fig. 36.

l) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = \lambda$ und $y = p$. Bis zu welcher Belastung verläuft die Kurve nahezu geradlinig. *Proportionalitätsgrenze.* Wie verläuft die Kurve weiterhin? Nahm der Draht, solange er noch nicht bis zur Proportionalitätsgrenze belastet worden war, bei der Entlastung seine ursprügliche Länge wieder an? *Elastisch.* Nahm der Draht, nachdem er über seine Proportionalitätsgrenze hinaus belastet worden war, wieder seine ursprüngliche Länge an? *Bleibende Verzerrung* oder *dauernder Rückstand.* Wie groß ist der Rückstand nach einer Belastung mit 30 kg*?

m) Miß den Durchmesser an den Bruchenden in zwei zueinander senkrechten Richtungen. Hat er sich geändert?

Belastung, Spannung. Längenänderung, Dehnung. Bruchbelastung, Zerreiß- oder Zugfestigkeit. Hookesches Gesetz. Elastizitätsmodul. Elastizitätsgrenze.

n) Wiederhole die Versuche (a) bis (m) mit Drähten aus Stahl, Messing und Kupfer und dann mit ausgeglühten Stücken derselben Drähte. Man erwärme die Drähte vorsichtig nur bis zur Rotglut über einem Schwalbenschwanzbrenner und lasse sie langsam abkühlen.

Bemerkungen. Man lasse gleichzeitig die verschiedenen Gruppen das Verhalten verschiedener Drähte untersuchen. Man wähle dabei die Durchmesser der Drähte so groß, daß die Bruchbelastungen etwa zwischen 30 und 80 kg* liegen, und lasse während der Versuche die Drähte etwa dreimal entlasten. Die folgende Tafel enthält die ungefähren Werte der Zerreißfestigkeiten in kg*/mm²:

	Gezogen	Ausgeglüht
Messing	(34)	—
Kupfer	40	30
Eisen	60	50
Stahl	70	40

Der Nonius (Fig. 36, S. 46) ist ein Tiefenmesser (Nr. 1635) von James Chesterman & Co., Ltd., zu Sheffield in England. Am verschiebbaren Nonius und am obern Ende des Stabes ist eine Schraube befestigt. Am obern Ende des Stabes ist ferner ein Messingstreifen angeschraubt, der oben eine dritte Schraube trägt. Diese steht von der Schraube des Nonius 25 cm ab. Der Draht wird mit diesen Schrauben so festgeklemmt, daß man bei den Versuchen die Verlängerung eines 25 cm langen Drahtstückes mißt.

Whiting *(367 Nr. 66)* und Hall *(Descript. List 35 Nr. 26 u. 36 Nr. 27)* bestimmen die Zugfestigkeit, indem sie einen Messingdraht von 0,36 mm Durchmesser mit einer Federwage vom Meßbereich 10 kg* zerreißen; hierbei sind besondere Schutzvorrichtungen für die Wage erforderlich. Nichols-Smith-Turton *(48 Nr. 17 u. 271)* benutzen daher statt der Federwage einen Garnprüfer vom Meßbereich 15 kg*. Andere einfache Zerreißvorrichtungen sind beschrieben bei: Cheston-Dean-Timmermann *55 Nr. 28.* Gilley *164 Nr. 21.* W. J. Hopkins *50 Nr. 8.* F. C. G. Müller, *Techn. d. phys. Unterr. 47.* Stewart-Gee *1, 197 Nr. 134.*

5. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen Spannung und Verzerrung bei einem Kautschukstab, den man innerhalb der Elastizitätsgrenze belastet?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *85 Nr. 4.*

Geräte. Runder massiver Stab aus gutem weißem Kautschuk von ~ 15 mm Durchmesser und 50 bis 90 cm Länge.
2 lange Stopfnadeln.
Meterstab.
Mikrometerschraubenlehre.
Bindfaden.
Wageschale.
Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2 kg*, dazu 0,5 kg*.
Millimeterpapier.

Anleitung. a) Biege die Enden des Stabes um und binde sie fest, so daß Schleifen entstehen. Hänge die eine Schleife an einen festen Haken und befestige an der andern eine Wageschale. Stecke in 40 bis 60 cm Abstand zwei lange Stopfnadeln so durch die Achse des Stabes, daß sie in einer Ebene liegen, und befestige dicht hinter und neben den Nadeln einen Meterstab (Fig. 37).

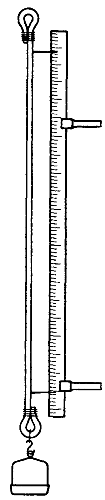

Fig. 37.

b) Miß mit der Mikrometerschraubenlehre den Durchmesser des Stabes an mindestens drei Stellen in zwei Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen. Vgl. Teil 1, Aufg. 8 S. 17. Vermeide dabei, den Kautschuk zusammenzupressen.

c) Lies mit Hilfe des Ablesespiegels sehr sorgfältig die Stellungen der beiden Nadeln ab; schätze dabei noch die Zehntelmillimeter.

d) Belaste die Schale langsam und vorsichtig in Stufen von je 0,5 kg* bis zu 3 kg*. Warte nach jeder Belastung drei Minuten und lies dann die Stellungen der beiden Nadeln ab.

e) Entlaste die Schale in Stufen von je 0,5 kg* und verfahre sonst genau wie bei (d).

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Mittlerer Durchmesser des Stabes $d = \ldots$ [mm]. Mittlerer Querschnitt des Stabes $q = \ldots$ [mm²]. Länge des Stabes (Abstand der Nadeln), wenn nur mit der Schale belastet, $l_0 = \ldots$ [mm]. Schale Nr. . . . Gewicht der Schale $F_0 = \ldots$ [kg*].

Belastung der Schale F kg*	Nadelablesungen in mm oben	unten	Abstand der Nadeln l mm	Längenänderung $\lambda = l - l_0$

Verzerrung $e = \frac{\lambda}{l_0}$	Spannung $p = \frac{F}{q}\left[\frac{\text{kg*}}{\text{mm}^2}\right]$	Elastizitätsmodul $E = \frac{p}{e}\left[\frac{\text{kg*}}{\text{mm}^2}\right]$
	Mittel	$E = \ldots$ [kg*/mm²] $[E] = \ldots$ [Dyne/cm²]

g) Um wieviel Zentimeter ist der mit F kg* belastete Stab länger als der nur mit der Schale beschwerte? $\lambda = l - l_0$. Wie groß ist die Verzerrung oder Dehnung des Stabes? $e = \lambda/l_0$. Wie groß sind bei den verschiedenen Belastungen die Spannungsänderungen des Stabes? $p = F/q$.

h) Zeichne unter Benutzung desselben Achsenkreuzes, doch getrennt für die wachsenden und abnehmenden Spannungen, die Spannungskurve $x = \lambda$ und $y = p$.

i) Wie verhalten sich die Spannungen p zu den Dehnungen e? *Elastizitätsmodul* E. *Dehnungskoeffizient* $a = 1/\mathrm{E}$. *Hookesches Gesetz.* Wie groß ist der Elastizitätsmodul des Kautschuks, gemessen in kg*/mm² und in Dyne/cm²?

Bemerkungen. Im allgemeinen erhält man bei Kautschuk nicht leicht befriedigende Ergebnisse. Die Längenänderung soll nicht mehr als 5% der ursprünglichen Länge betragen. Will man den Wert von E schärfer bestimmen, so fasse man je zwei Versuche zusammen, bei denen die Belastungen um 1,5 kg* verschieden sind, und berechne das Mittel aus den drei Werten der Längenänderung für die Mehrbelastung 1,5 kg* und daraus den Elastizitätsmodul.

Die Verlängerungen kann man schärfer mit zwei Mikrometerschrauben messen, die man mit Klemmen an einem Gestell befestigt.

Andere einfache Vorrichtungen findet man bei Allen *183 Nr. 10, 221 u. 254.* Duff *197 Nr. 32.* Earl, *Pract. Lessons 289.* Rintoul *160 Nr. 33.* Schuster-Lees, *Interm. Course 65 Nr. 13.* Stewart-Gee *1, 192.* Ein schönes Verfahren, das Verhältnis der Querkürzung zur Längendehnung zu bestimmen, steht bei Wiedemann-Ebert *110.*

6. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen Spannung und Verzerrung bei einem Metalldraht, den man innerhalb seiner Elastizitätsgrenze belastet?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *89 Nr. 5.*

Geräte. Verzinnter Eisendraht von 1,2 mm Durchmesser. Nonius ohne Ansatz. Große Wageschale von 36 cm Durchmesser. Mikrometerschraubenlehre. Bandmaß. Vergrößerungsglas. Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2, 2, 5, 5, 10 kg*. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Hänge am Deckenhaken oder an der Schelle des Deckenbalkens in $\sim$ 1 cm Abstand zwei Drahtstücke nebeneinander auf. Befestige den einen Draht am geteilten Stab und den andern Draht am Noniusschieber der Tiefenlehre. Spanne den ersten Draht dauernd mit einem 2 kg*-Stück straff und hänge an den andern Draht, den Meßdraht, die Wageschale (Fig. 38).

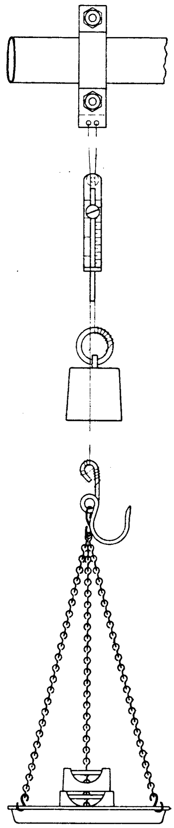

Fig. 38.

b) Prüfe, ob die Drähte frei von Schleifen und Knicken sind.

c) Belaste den Meßdraht 5 Minuten lang mit der höchsten Belastung, die angewendet werden soll, hier 12 kg*. Entferne aus der Schale die Belastung bis auf 4 kg*. Lies mit dem Vergrößerungsglas sorgfältig den Nonius ab und schätze dabei die Zehntel eines Noniusteiles.

d) Belaste die Schale, die bereits mit 4 kg* beschwert ist, vorsichtig und langsam in Stufen von je 2 kg* bis zu 10 kg*. Warte nach jeder Belastung drei Minuten und lies dann den Nonius ab.

e) Entlaste die Schale in Stufen von je 2 kg* bis auf 4 kg* und verfahre genau wie bei (d).

f) Miß mit einem Bandmaß die Länge des Drahtes. Hat man kein solches Maß, so mißt man die Länge mit einer langen Holzlatte, worauf man das obere und untere Ende des Drahtes markiert.

g) Miß mit der Mikrometerschraubenlehre den Durchmesser des Drahtes mindestens an drei Stellen in zwei Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . Draht. Länge des Drahtes $l = \ldots$ [mm]. Mittlerer Durchmesser des Drahtes $d = \ldots$ [mm]. Mittlerer Querschnitt des Drahtes $q = \ldots$ [mm²]. Nullpunkt des Nonius . . . mm. Wageschale Nr. . . . Gewicht der Wageschale $F_0 = \ldots$ [kg*].

Mehrbelastung der Schale F kg*	Noniusablesung in mm		Längenänderung λ mm		
	vorwärts	rückwärts	vorwärts	rückwärts	Mittel

Verzerrung $e = \frac{\lambda}{l}$	Spannung $p = \frac{F}{q} \left[\frac{\text{kg*}}{\text{mm}^2}\right]$	Elastizitätsmodul $\text{E} = \frac{p}{e} \left[\frac{\text{kg*}}{\text{mm}^2}\right]$
	Mittel	E = ... [kg*/mm²] [E] = ... [Dyne/cm²]

i) Berechne aus den Mehrbelastungen und den Längenänderungen die Verzerrungen und Spannungsänderungen.

k) Zeichne die Spannungskurve $x = \lambda$ und $y = p$.

l) Wie verhalten sich die Spannungen zu den Dehnungen? *Elastizitätsmodul E. Dehnungskoeffizient* $\alpha = 1/E$. *Hookesches Gesetz.* Wie groß ist der Elastizitätsmodul des Drahtes in kg*/mm² und in Dyne/cm² gemessen?

Bemerkungen. Zu den Versuchen sind Drähte aus Stahl, Eisen, Kupfer und Messing von 0,9 bis 1,7 mm Durchmesser geeignet. Die größte Belastung, die man bei den Versuchen anwendet, soll nach Wells bei Kupfer $^1/_{20}$ und bei Messing, Eisen und Stahl $^1/_{10}$ der Bruchbelastung nicht übersteigen. Nach Kohlrausch[10] *217* darf man jedoch harte Metalldrähte bis zur Hälfte der Bruchbelastung beanspruchen. Man messe daher den Durchmesser des Drahtes und berechne daraus den Querschnitt, dann mit der Tafel auf S. 46 aus der Zugfestigkeit die Bruchbelastung und daraus die höchste Belastung, die bei den Versuchen mit dem Draht zulässig ist.

Will man den Wert von E schärfer bestimmen, so fasse man je zwei Versuche zusammen, bei denen die Belastungen um 4 kg* verschieden sind, und berechne das Mittel aus den beiden Werten der Längenänderungen für die Mehrbelastung 4 kg* und daraus den Elastizitätsmodul.

Über die Einrichtung der Tiefenlehre vgl. S. 47 und über andere Nonien: Ames-Bliss *163 Nr. 27*, Rintoul *157 Nr. 31 u. 32*, *South Kensington Syllabus 49*. Watson, *Text Book of Pract. Phys. 99 Nr. 40*.

Als Vergrößerungsglas benutze man die Okularlinse des Fernrohrs oder einen Fadenzähler. Vgl. Optik Aufg. 16.

Es ist empfehlenswert, die Höhe des Hakens oder der Schelle über dem Fußboden ein- für allemal zu messen. Man hat dann bei den Versuchen nur die Entfernung des untern Drahtendes vom Boden zu bestimmen.

Andere einfache Verfahren zur Auffindung des Hookeschen Gesetzes findet man bei Gilley *162 Nr. 20*. Hall, *Descript. List. 38 Nr. 28*. Nichols-Smith-Turton *38 Nr. 14*.

N. F. Smith, *School Science 3, 27; 1903 und 4, 113; 1904*, lötet das eine Drahtende an einen starken Wandhaken an und spannt den langen Draht mit einer 15 kg*-Federwage wagerecht. Auf dem Draht befestigt er in der Nähe der Federwage einen leichten steifen Zeiger aus Holz oder Metall, der zwischen die Zähne einer Mikrometerschraubenlehre hineinragt. Die Lehre ist am Tisch festgeklemmt.

III. Kräfte, die an einer Stelle angreifen.

7. Aufgabe. *Wie groß ist die Gesamtwirkung zweier Kräfte, die in gleicher oder entgegengesetzter Pfeilrichtung an einer Stelle angreifen?*

(3 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

2 Rollen (vgl. S. 53).	1 Druck-Federwage.
Gewichtstücke mit Ringen von 1, 1, 5 kg*.	Haken.
2 Scheibengewichte von 0,5 kg*.	Messingring von 0,5 cm Durchmesser.
Bindfaden oder Angelschnur.	Schere.
3 Zug-Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*.	Nägel.
	Hammer.
	Holzklotz.

Anleitung. a) Befestige am Wandbrett oder am Rande des Tisches eine Rolle. Binde an das eine Ende einer langen Schnur das 2 kg*-Stück und an das andere Ende den Haken einer Federwage. Halte die Wage am Ringe lotrecht, hebe das Gewichtstück empor, klopfe gegen die Wage und lies sorgfältig die Zeigerstellung ab. Verbessere mit der Fehlertafel der Wage die Ablesung. Gib Größe, Pfeilrichtung und Angriffstelle der Kraft an, die auf die Wage wirkt.

b) Lege die Schnur über die Rolle, ziehe so am Ringe der Wage, daß beide Teile der Schnur rechtwinklig zueinander stehen, zupfe einige Male an der Schnur, lies sorgfältig die Zeigerstellung ab, sowohl wenn das Gewicht eben sinkt, als auch wenn es eben steigt, und nimm aus beiden Ablesungen das Mittel. Verbessere die Ablesung unter Berücksichtigung der Lage der Wage. Hat sich nur die Pfeilrichtung der Kraft geändert?

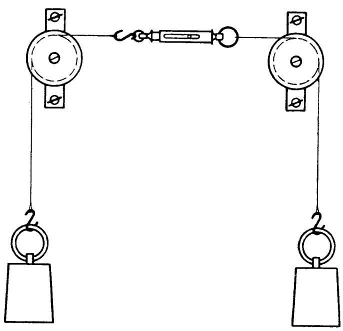

Fig. 39.

c) Wiederhole Versuch (b), doch ziehe diesmal so am Ringe der Wage, daß die beiden Teile der Schnur parallel liegen. Welchen Vorteil bietet die feste Rolle?

d) Befestige zwei Rollen so nebeneinander, daß ihre Rinnen in einer Ebene liegen und ein darüber gespannter Faden wagerecht sein würde (Fig. 39). Binde an den Haken und den Ring einer Federwage Schnüre und an deren andere Enden gleiche Gewichte. Lege die Schnüre so über die Rollen, daß die Wage zwischen beiden wagerecht gehalten wird. Ziehe einigemal schwach an der Schnur, lies den Zeiger der Wage ab und verbessere die Ablesung. Ist die Zugkraft an allen Stellen der Schnur gleich? *Kraftübertragung.*

e) Halte eine Federwage an ihrem Ringe, hänge an ihren Haken eine andere Federwage und an deren Haken das 2 kg*-Stück. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeiger sorgfältig ab und verbessere die Ablesungen. Sind die Zugkräfte an beiden Wagen gleich? Wie kann man etwaige Unterschiede erklären?

f) Bilde eine Kette von drei Federwagen und wiederhole den Versuch (e).

g) Hänge an den Haken einer Federwage ein 1 kg*-Stück und daran eine Federwage und an diese ein 2 kg*-Stück. Lies beide Wagen sorgfältig ab, vergleiche die verbesserten beiden Ablesungen und erkläre ihre Unterschiede.

h) Hake die untere Wage ab und hänge die beiden Gewichtstücke jedes mit einer besondern Schnur an die obere Wage. Lies die Zeigerstellung ab und vergleiche das verbesserte Ergebnis mit dem des vorigen Versuchs.

i) Befestige am Haken einer Federwage eine Schnur, bei der an verschiedenen Stellen Haken angebracht sind und lies die Zeigerstellung ab. Hänge an die Haken verschiedene Gewichte (das Gesamtgewicht darf den Meßbereich der Wage nicht übersteigen), hebe die Federwage am Ring empor und lies ihren Zeiger ab. Vertausche die Gewichte miteinander. Ändert sich die Zeigerstellung? Vergleiche die verbesserte Ablesung des Zeigers mit der Gesamtbelastung der Wage. Welches Gewicht müßte man an die Federwage hängen, um auf deren Feder die gleiche Zugkraft auszuüben? *Teilkräfte (Komponenten), Gesamtkraft (Resultierende, Resultante), Darstellung der Kräfte durch Pfeile (Vektoren).* Stelle die Kräfte, die bei den Versuchen (a) bis (i) wirksam waren, durch Kraftpfeile dar.

k) Setze ein 5 kg*-Stück auf eine Druck-Federwage und lies die Zeigerstellung ab. Befestige an dem Gewicht den Haken einer Zug-Federwage, ziehe am Ringe lotrecht nach oben und lies beide Wagen ab. Vergleiche die Änderung der Ablesung an der untern Wage mit der Ablesung an der obern Wage. Vergleiche die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte miteinander, die auf die Wagen wirken.

l) Befestige an einem kleinen Ringe zwei Schnüre und an jedem der freien Enden den Haken einer Federwage. Schlage in einen Holzklotz einen Nagel, kneife den Kopf ab und streife den Ring über den Stift. Laß jeden der beiden Mitarbeiter so an dem Ringe einer Wage ziehen, daß der Nagel genau in der Mitte des kleinen Ringes frei steht. Lies die Federwagen ab und verbessere die Ablesungen. Wie verhalten sich die beiden Zugstärken, die auf den Ring ausgeübt werden, und wie die Pfeilrichtungen der beiden Zugkräfte? Ändere die Zugstärken. Unter welchen Bedingungen halten sich die Kräfte am Schnurring das Gleichgewicht?

m) Halte die Ringe zweier Federwagen dicht nebeneinander, hänge ein 2 kg*-Stück gleichzeitig an die Haken beider Wagen, hebe es empor, lies beide Zeiger ab und verbessere die Ablesungen. Vergleiche die Summe der Ablesungen mit dem Gewicht. Vergleiche das Ergebnis mit dem Ergebnis von Versuch (e).

Bemerkungen. Die Aluminiumrollen von 5 bis 7,5 cm Durchmesser sollen leicht, gut ausbalanziert und leicht drehbar sein. Der Rand ist mit einer tiefen und engen Rinne versehen. Die Rollengabel sitzt an einer Klemme, womit sie am Rand der Wandbretter so befestigt wird, daß die Schnur möglichst wenig vom Brett absteht (Fig. 40). Die Wandbretter müssen also freie Ränder haben und dürfen nicht zu dicht an der Mauer sitzen.

Man kann auch leichte Holzrollen von 5 bis 7,5 cm Durchmesser verwenden, deren Bohrung so ausgefüttert ist, daß sie frei auf Stiften laufen, auf deren einem Ende ein Gewinde eingeschnitten ist (Fig. 41). Man befestigt die Rollen, indem man mit dem Vorstecher ein Loch in das Wandbrett macht und darin dann die eingefettete Schraube einbohrt. Zweckmäßiger ist es, die Rollenachse mit einem Eisenblech zu verbinden und dies mit zwei Flügelschrauben am Wandbrett zu befestigen (Fig. 42).

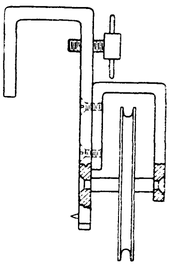

Fig. 40.

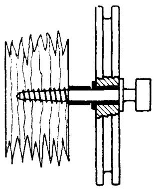

Fig. 41.

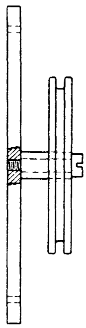

Fig. 42.

Zur Befestigung am Tischrand ist die Universalrolle sehr geeignet. An einer Schraubenzwinge ist mit einem Eisenband ein Messingwürfel befestigt, der in zwei Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen, durchbohrt ist. In den Löchern kann man mit einer Schraube den 1,3 cm dicken runden Stiel der Rollengabel befestigen. In den Messingwürfel kann man zwei Rollen einsetzen, eine feine mit Spitzenlager und eine kräftige mit Zapfenlager. Die Gabel kann man auch in den Klemmen eines Bunsengestells befestigen. Vgl. über die Verwendung der Universalrolle Aufg. 15 bis 18, 22, 26 und 39.

Wer Geld hat, kann sich auch Rollen mit Kugellagern anschaffen.

Die Versuche lassen sich mannigfach abändern, da man durch Federwagen, Kautschukschnüre und Gewichte an Schnüren, die über Rollen geführt sind, die gleichen Wirkungen zu erzielen vermag.

Bei Versuch (l) kann man zwei Lote nebeneinander aufhängen und die eine Lotkugel statt des Ringes mit den Schnurenden verbinden.

Man achte darauf, daß die Schüler die Federwagen stets so anordnen, daß der Schlitz in der Richtung des Schnurteils liegt, der am Haken befestigt ist. Man lasse stets mit Kräften arbeiten, die zwar selbstverständlich kleiner als der Meßbereich der Wage, doch größer als die Hälfte der größten zulässigen Belastung sind.

8. Aufgabe. *Durch welche Kraft kann man zwei Kräfte ersetzen, die unter einem Winkel an einer Stelle angreifen?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. WORTHINGTON *95 Nr. 10.*

Geräte. Kautschukschnur von quadratischem Querschnitt (1,5 bis 2 mm). Stecknadeln. Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60). | Schere. Faden. Bunsengestell. Leichte Schale. Gewichtsatz.

Anleitung. a) Binde zwei 16 cm lange Stücke derselben Kautschukschnur in der Mitte zusammen, miß vom Knoten O aus auf jedem Schnurteil die gleiche Länge, sagen wir 5 cm, ab, und stecke durch jeden Endpunkt eine Nadel. Befestige an den vier Nadeln kleine Zettelchen mit den Buchstaben A, B, C und D (Fig. 43).

b) Hefte auf das Reißbrett einen Bogen Papier und stecke die Nadeln A und B am Ende der einen Schnur so in das Brett, daß diese zwar gerade gezogen, doch nicht gespannt wird. Ziehe an der Schnur OC nach verschiedenen Richtungen in der Papierebene und mit verschiedener Stärke. Ändern sich mit der Richtung und der Stärke der Zugkraft der

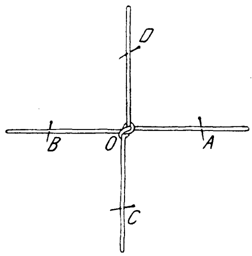

Fig. 43.

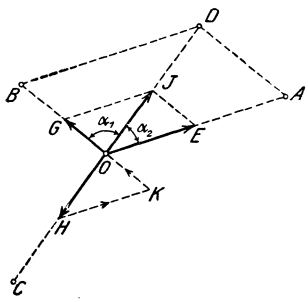

Fig. 44.

Winkel AOB und die Längen der Schnurstücke OA und OB, also auch die Kräfte F_1 und F_2, die im Knoten O angreifen und die Fäden ausrecken? Besteht eine Beziehung zwischen den Richtungen der Schnüre und den Kräften, die in O angreifen und sich das Gleichgewicht halten?

c) Ziehe den Faden OC nach einer bestimmten Richtung und stecke die Nadel C in das Brett (Fig. 44). Mache an der Stelle, über der der Knoten O liegt, mit einer Nadel einen Stich, umringele ihn und schreibe den Buchstaben O daran. Nimm die Nadeln A und B heraus, umringele die Stichstellen und schreibe die Buchstaben A und B daran. Ziehe am Faden OD, bis der Knoten wieder über der früheren Stelle liegt, und stecke dann die Nadel D in das Brett. Die Kraft, die den Faden OD spannt, sei F und die Kraft, die den

Faden OC ausreckt, sei F_3. Die Kraft F ersetzt also die Kräfte F_1 und F_2 und hält der Kraft F_3 das Gleichgewicht. *Gegenkraft.* Ziehe die Nadeln heraus und lege sie und die Schnüre zur Seite.

d) Ziehe mit einem spitzen harten Blei die Strecken OA, OB, OC und OD und schneide die 5 cm langen Strecken AE, BG, CH und DJ darauf ab. Es stellen dann OE, OG, OH und OJ die Längenänderungen der Schnurteile und mithin die Kräfte F_1, F_2, F_3 und F dar. Mache in den Punkten E, G, H und J Pfeilspitzen, die die Pfeilrichtungen der Kräfte angeben. *Kraftpfeile, Vektoren.*

e) Zeichne mit den Zeichendreiecken das Parallelogramm, das durch OE und OG bestimmt wird, und ziehe die Diagonale, die durch den Punkt O geht. In welcher Beziehung steht J zu dem Parallelogramm? Vergleiche die Längen und Richtungen von OH und OJ miteinander.

f) Befestige den Knoten der Schnüre, hänge der Reihe nach an jeden Schnurteil eine leichte Wageschale und lege Gewichte darauf, bis die Schnur, die gerade untersucht wird, sich zu der Länge ausreckt, die sie hatte, als sie auf dem Reißbrett ausgespannt war. Die Gewichte der Schale und der daraufliegenden Gewichtstücke messen die Kräfte F_1, F_2, F_3 und F. Schreibe die so gefundenen Größen der Kräfte an die zugehörigen Kraftpfeile der Figur. Berechne für jede Schnur die Kraftkonstante (vgl. Aufg. 1 S. 36).

g) Wiederhole die Versuche (c) bis (e), doch spanne dabei die Schnüre der Reihe nach in verschiedenem Grade und nach verschiedenen Richtungen z. B. so, daß der Winkel AOB gleich 60^0, 90^0 und 120^0 wird. Zeichne jedesmal das Parallelogramm und schreibe an die Pfeile OE, OG, OH und OJ die Größe der Kräfte.

h) Welche drei Kräfte halten sich, wenn man von den Versuchsfehlern absieht, bei den Versuchen das Gleichgewicht? Welche beiden Kräfte halten sich ebenfalls das Gleichgewicht? Durch welche Kraft kann man daher die Kräfte F_1 und F_2 ersetzen, ohne daß das Gleichgewicht gestört wird. *Gesamtkraft* oder *Mittelkraft (Resultierende* oder *Resultante). Seitenkräfte* oder *Teilkräfte (Komponenten). Parallelogramm der Kräfte. Geometrische Addition, Vektorensumme.* Welche Linien des Parallelogramms sind bei der Auffindung der Gesamtkraft eigentlich entbehrlich?

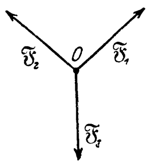

Fig. 45.

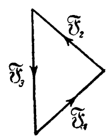

Fig. 46.

i) Verlängere in der Fig. 44 OG über O hinaus um sich selbst und verbinde den so erhaltenen Punkt K mit H. Vergleiche HK mit OE. Was stellen also die Seiten des Dreiecks OHK dar?

Drücke durch Pfeilspitzen auch die Pfeilrichtungen der Kräfte aus. *Kräftedreieck.* Wann halten sich drei Kräfte, die an einer Stelle angreifen, das Gleichgewicht? Stellen die Seiten jenes Dreiecks auch die Lage der Kräfte dar, die auf den Punkt O wirken? Dem *Lagebild* (Fig. 45) entspricht das *Krafteck* (Fig. 46). Zeichne die

Kraftdreiecke, welche den Lagebildern entsprechen, die bei den Versuchen (g) gewonnen wurden.

k) Stecke die Nadeln der Schnur *CD* (Fig. 44) in das Reißbrett und spanne dabei die Schnur. Markiere durch einen Nadelstich die Lage des Knotens *O*. Ziehe die Nadel *D* heraus und stecke die Nadeln *A* und *B* so ein, daß der Knoten *O* wieder seine alte Lage einnimmt. Prüfe, ob es mehrere Lagen von *A* und *B* gibt, bei denen der Knoten *O* seine ursprüngliche Lage wieder einnimmt. Auf wieviel Weisen kann man eine gegebene Kraft zerlegen?

2. Verfahren.

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. 2 Rollen.
3 weiche biegsame Schnüre aus Seide von ∼ 1,5 mm Durchmesser.
Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60.
Messingring von 0,5 cm Durchmesser.
Wageschale.
Ringgewichtstücke von 1 und 1 kg*, dazu 0,5 kg*.
Gewichtsatz.
Vorstecher.
Talg.
Garn.
Schere.
Schrot.
Ablesespiegel.

Anleitung. l) Wäge die Wageschale, wenn deren Gewicht nicht bereits ermittelt worden ist, und lege so viel Schrot oder dgl. darauf, daß das Gesamtgewicht auf Grammzehner abgerundet wird.

m) Befestige am Rande des Wandbrettes die beiden Rollen und hefte den Papierbogen auf das Brett. Binde das eine Ende jeder der drei Schnüre an den Messingring, lege die rechte und die linke Schnur in die Rinnen der Rollen, laß den Mitarbeiter den Ring festhalten und belaste die freien Schnurenden mit 0,750 kg* und 1 kg*, hänge an das Ende der Mittelschnur die Wageschale und lege so viele Gewichte darauf, daß die Gesamtbelastung 1,250 kg* beträgt (Fig. 47). Klopfe gegen das Brett und zupfe mehrmals leicht an der mittlern Schnur. Mache mit einem spitzen Blei unter jede Schnur zwei Punkte, einen ganz in der Nähe des Ringes und den andern möglichst weit davon entfernt. Vermeide dabei sorgfältig, die Schnüre zu berühren. Die Punkte müssen genau unter der Mitte der Schnur liegen. Stehen die Schnüre weit genug vom Brett ab, so kann man einen kleinen Spiegelstreifen

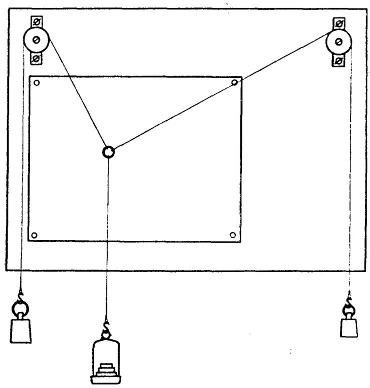

Fig. 47.

unterlegen und das Auge so halten, daß sich die Schnur und ihr Bild decken. Man macht dann den Punkt nahe bei einem Ende des Spiegels. Schreibe an je zwei zusammengehörige Punkte die Größe der Kraft, die in der Richtung wirkt, die durch die Punkte bestimmt wird.

n) Nimm den Papierbogen ab und ziehe ganz fein die drei Geraden, die die Richtungen der drei Schnüre angeben. Schneiden sie sich in einem Punkt? Ist es nicht der Fall, so markiere mit einem Punkt die Mitte O des entstandenen kleinen Dreiecks und verbinde ihn sehr sorgfältig mit den entfernten Punkten A, B und C unter den drei Schnüren (Fig. 44). Stelle die Kraft 1 kg* durch eine 20 cm lange Strecke dar. Trage von O aus die drei Strecken OE, OG und OH ab, die die Größe und Pfeilrichtung der Kräfte F_1, F_2 und F_3 darstellen. Mache an die Enden E, G und H der Strecken Pfeilspitzen, die die Pfeilrichtungen angeben. *Kraftpfeile, Vektoren.*

o) Ziehe mit den Zeichendreiecken durch E die Parallele zu OG und durch G die Parallele zu OE. Sie schneiden sich im Punkt J. Ziehe die Diagonale OJ und miß ihre Länge. Wie groß ist die dadurch dargestellte Kraft F? Vergleiche ihre Größe mit der von OH, die die Kraft F_3 vertritt. Verlängere OH über O hinaus. Mit welcher Geraden fällt die Verlängerung nahezu zusammen? Beantworte die Fragen (h).

p) Miß den Winkel $JOG = \alpha_1$ und den Winkel $EOJ = \alpha_2$ und berechne daraus den Winkel $\alpha_3 = 180^0 - (\alpha_1 + \alpha_2)$.

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wageschale Nr. . . . Gewicht der Schale nebst Schrot = . . . kg*.

F_1 kg*	F_2 kg*	F_3 kg*	F kg*	α_1	α_2	α_3	$\frac{F_1}{\sin \alpha_1}$	$\frac{F_2}{\sin \alpha_2}$	$\frac{F_3}{\sin \alpha_3}$

Welche Beziehung besteht zwischen den Größen F_1, F_2, F_3, $\sin \alpha_1$, $\sin \alpha_2$ und $\sin \alpha_3$?

r) Belaste die Seitenschnüre mit 1 kg* und 0,750 kg* und die Mittelschnur mit 1,5 kg* und verfahre wie bei den Versuchen (m) bis (q). Wird der Satz vom Parallelogramm der Kräfte bestätigt?

s) Verfahre mit den Figuren, die bei den Versuchen (o) bis (s) erhalten worden sind, wie in (i). Lege unter die Zeichnungen ein anderes Blatt Papier. Stich mit einer Nadel durch die Ecken der Kraftdreiecke. Zeichne die so durchgepausten Kraftdreiecke und schneide sie aus. Stelle die Schnurbelastungen wieder her und halte die Kraftdreiecke so, daß F_1 mit OE zusammenfällt, und so daß die Krafteckseiten das eine Mal den Schnüren parallel laufen und das andere Mal darauf senkrecht stehen.

t) Belaste die Mittelschnur mit 1,5 kg* und die eine Seitenschnur mit 1,250 kg*. Bestimme durch Zeichnung und Versuch, welche Gewichte man an die andere Seitenschnur hängen muß, damit die beiden Seitenschnüre den Winkel 100^0 bilden.

u) Ermittele durch Zeichnung und Versuch die Bedingungen, unter denen sich die an einer Stelle angreifenden Kräfte 1,5; 1,250 und 1 kg* das Gleichgewicht halten. Leite dabei aus dem Kräftedreieck das Lagebild ab und belaste beim Versuch die mittlere Schnur am stärksten.

v) Ziehe in dem Lagebild (Fig. 48), das bei Versuch (n) erhalten wurde, durch den Punkt O ein rechtwinkliges Achsenkreuz. Projiziere die Endpunkte der Kraftpfeile $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$ und $\mathfrak{F}$ auf das Achsenkreuz und zerlege so diese Kräfte in die Komponenten

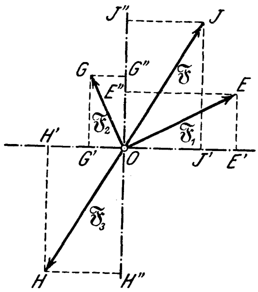

Fig. 48.

$$\mathfrak{X}_1,\ \mathfrak{X}_2,\ \mathfrak{X}_3,\ \mathfrak{X}$$

und

$$\mathfrak{Y}_1,\ \mathfrak{Y}_2,\ \mathfrak{Y}_3,\ \mathfrak{Y},$$

die in die Achsenrichtungen fallen. Bestimme sorgfältig Größe und Pfeilrichtung der Seitenkräfte. Vergleiche $\mathfrak{X}$ mit der algebraischen Summe $\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2$ und $\mathfrak{Y}$ mit der algebraischen Summe $\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2$. Bilde die algebraischen Summen $\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2 + \mathfrak{X}_3$ und $\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2 + \mathfrak{Y}_3$. Behandle ebenso die Lagebilder der Versuche (r), (t) und (u); versuche dabei möglichst viele Linien zu sparen. Welche Regeln lassen sich über die Projektionen der Komponenten und der Resultierenden aufstellen? Welche Bedingungen bestehen für das Gleichgewicht dreier Kräfte, die an einer Stelle angreifen?

w) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

$\mathfrak{X}_1$ kg*	$\mathfrak{X}_2$ kg*	$\mathfrak{X}_3$ kg*	$\mathfrak{X}$ kg*	$\mathfrak{Y}_1$ kg*	$\mathfrak{Y}_2$ kg*	$\mathfrak{Y}_3$ kg*	$\mathfrak{Y}$ kg*

$\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2$	$\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2$	$\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2 + \mathfrak{X}_3$	$\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2 + \mathfrak{Y}_3$
	Mittel	. . . . .	. . . .

3. Verfahren.

(4 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Hall, *Descript. List 15 Nr. 13.*

Geräte. 3 Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*. | 3 Angelschnüre von 20 bis 50 cm Länge.

Geräte. Messingring von 0,5 cm Durchmesser. Ablesespiegel. Schlitten für die Federwagen (vgl. S. 60). Zwingen.

Anleitung. x) Befestige die drei Schnüre mit einem Ende am Messingring und mit dem andern Ende an den Haken der Federwagen. Klemme die Schlitten der Wagen an verschiedenen Stellen des Tisches oder des Reißbrettes so fest, daß die Schlitze in den Schnurrichtungen liegen. Hefte unter dem Ring ein Blatt Papier mit Reißnägeln fest (Fig. 49). Verschiebe den Ring und prüfe, ob er genau seine alte Lage wieder einnimmt. Ist das nicht der Fall, so sieh nach, ob irgendwo eine Reibung zwischen Feder und Gehäuse oder Wage und Unterlage stattfindet, und beseitige die Störung. Lege unter die Schnüre kleine Spiegelstreifen, ohne dabei die Schnüre zu verschieben, halte das Auge so, daß sich die Schnur und ihr Spiegelbild decken und mache nahe bei einem Ende des Streifens ganz genau unter der Schnurmitte mit einem spitzen Blei einen Punkt auf das Papier. Die Richtung jeder Schnur stellt man mit zwei Punkten fest, wovon der eine nahe beim Ring und der andere so weit wie möglich davon entfernt liegt. Lies an den Federwagen sehr sorgfältig die Kräfte ab, wodurch die Schnüre gespannt werden. Schreibe die Ablesung und die für die wagerechte Stellung der Wage erforderliche Verbesserung neben die Schnur. (Vgl. Aufg. 3 S. 41.)

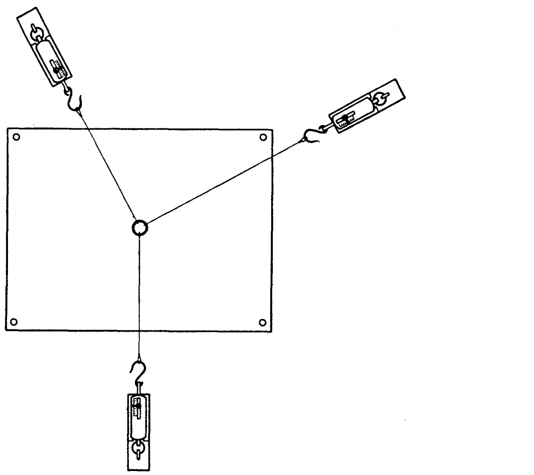

Fig. 49.

y) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . . 2. Wage Nr. . . . 3. Wage Nr. . . .

F_1 kg*		F_2 kg*		F_3 kg*		F kg*	α_1	α_2	α_3	$\frac{F_1}{\sin \alpha_1}$	$\frac{F_2}{\sin \alpha_2}$	$\frac{F_3}{\sin \alpha_3}$
Zeigerablesung	Verbesserte Größe	Zeigerablesung	Verbesserte Größe	Zeigerablesung	Verbesserte Größe							

z) Verfahre wie in (n) bis (q). Zeichne auch noch die beiden andern möglichen Parallelogramme und bearbeite sie genau so wie das erste.

aa) Wiederhole die Versuche (x) bis (z), doch richte es so ein, daß zwei Kräfte erst den Winkel 90°, dann 60° und schließlich 30° miteinander bilden.

bb) Verfahre wie bei (v) und (w).

Bemerkungen. Beim ersten Verfahren, dessen Ergebnisse nicht besonders gut sind, kann man wie Gregory-Simmons *(1, 139 Nr. 85)* auch eine 16 cm lange Kautschukschnur verwenden, an deren Mitte man ein 8 cm langes Stück derselben Schnur bindet.

Beim zweiten Verfahren muß man die Rollen, deren Güte die Ergebnisse beträchtlich beeinflußt, so befestigen, daß die Schnüre möglichst wenig vom Brett abstehen. Sind die Ergebnisse mit einem erheblichen Fehler behaftet, so behalte man den Wert der Mittelkraft bei und verbessere die Seitenkräfte.

Die Richtung jeder Schnur kann man anstatt durch zwei Nadelstiche durch einen Stich in der Mitte des Ringes und einen Stich unter jeder Schnur markieren. Man kann auch den Ring weglassen und alle drei Schnüre miteinander verknoten. Verwendet man noch eine dritte Rolle, so vermag man der Kraft F_3 eine beliebige Richtung zu erteilen.

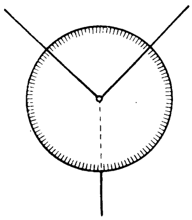

Fig. 50.

Es empfiehlt sich kaum, am Knoten einen in 360° geteilten Winkelmesser anzubringen. Man kann das so ausführen, daß man dessen Mitte durchbohrt, die beiden Seitenschnüre hindurchzieht und auf der Rückseite mit der dritten Schnur verknotet (Fig. 50).

Anstatt der beiden Rollen und der Gewichte kann man auch zwei Federwagen (bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*) verwenden. Man hängt sie an Haken, die man in die obern Ecken des Wandbretts einschraubt, benutzt aber anstatt der seidenen Schnüre Angelschnüre und belastet die mittlere Schnur mindestens mit 2 kg*. Die Kraftrichtung ändert man durch Verlängerung oder Verkürzung der Seitenschnüre. An den Ablesungen der Federwagen sind die Verbesserungen anzubringen, die ihren Stellungen entsprechen.

Die Lagebilder und die Kraftdreiecke sind stets in großem Maßstab zu zeichnen.

Beim dritten Verfahren benutzt man als Schlitten für die Federwage ein Holzbrettchen, auf das man zwei Seitenleisten nagelt. In das eine Ende schraubt man einen Haken ein, woran man den Ring der Wage hängt. Den Schlitten klemmt man mit einer Zwinge am Reißbrett oder Tisch fest. Einfacher ist es, einen Holzklotz, in den man einen Haken für den Ring der Wage eingeschraubt hat, mit einer Zwinge am Reißbrett oder Tisch zu befestigen.

Keine der Zugkräfte darf kleiner als die Hälfte der größten zulässigen Belastung der Federwage und selbstverständlich nicht so groß wie diese sein.

Bei dieser Aufgabe und vielen andern gebraucht man eine vollständige Zeichenausrüstung. Ihre Bestandteile sind Reißbrett, Reißschiene, Winkel von 45°, Winkel von 30° und 60°, Winkelmesser, Zeichenbogen, Reißnägel, harter Bleistift, Schmirgelpapier zum Anschärfen, Gummi, Zirkel, Millimeterstab von 30 cm Länge. Reißbrett, Reißschiene, Winkel, Winkelmesser, Zirkel und Millimeterstab sind bei der Anschaffung sorgfältig auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Die nötigen Anleitungen findet man u. a. bei Zur Megede, *Wie fertigt man technische Zeichnungen? Berlin, Polytechn. Buchhandlung.* Die Größe des Reißbrettes richtet sich nach der Breite des Arbeitstisches und dem Abstand der Gashähne vom Rande des Tisches.

Feinere Apparate zur Prüfung des Gesetzes vom Parallelogramm der Kräfte haben beschrieben: Fischer *25.* Mach, *Mechanik*[1] *50.* Millikan *26* Nichols *1, 40.*

9. Aufgabe. *Man spannt zwischen zwei Punkten eine Schnur aus und befestigt an ihrer Mitte ein Gewicht. Es ist durch Zeichnung und Versuch festzustellen, wie sich die Zugkräfte in den beiden Teilen der Schnur mit dem Winkel ändern, den sie miteinander bilden.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. WELLS *16 Nr. 6 und 7.*

Geräte. 2 Federwagen bis 4 kg*, in 0,1 kg* geteilt.
Ringgewichtstücke von 1 und 2 kg*.
Kleiner Messingring von 0,5 cm Durchmesser.
Bindfaden oder Angelschnur.
Nähgarn.
Hakenschrauben.
Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60.
Vorstecher.
Talg.
Schere.
Schrot.
Ablesespiegel.

Anleitung. **a)** Schraube in den beiden obern Ecken des Wandbrettes Haken ein und hänge die Federwagen mit ihren Ringen daran. Belaste jede Federwage mit dem 2 kg*-Stück, klopfe gegen das Gehäuse, ziehe mehrmals schwach am Wagenhaken, lies dann die Zeigerstellung ab und verbessere die Ablesung mit der Fehlertafel der Wage. Das Mittel aus den beiden Bestimmungen liefert das abgeglichene Gewicht F_3 des 2 kg*-Stückes.

b) Ziehe eine Schnur durch den kleinen Messingring und binde die Enden an die Haken der Federwagen. Wähle die Schnur so lang, daß der Ring 15 bis 20 cm über der unteren Kante des Wandbrettes liegt. Hänge mit einer Schnur das 2 kg*-Stück an den Ring. Befestige hinter den Schnüren ein Blatt Papier und ändere die Länge der Schnur so, daß der Winkel zwischen ihren beiden Teilen kleiner als ein rechter, sagen wir $\sim 60^0$ wird (Fig. 51). (Das kann geschehen, entweder indem man die Schnur verkürzt oder verlängert, oder indem man den einen der Haken, woran die Wagen hängen, nach innen oder außen rückt.) Ziehe mehrmals an der untern Schnur, klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen an den Wagen, entsprechend ihren Stellungen, mit Hilfe ihrer Fehlertafeln. Die so gemessenen Kräfte seien F_1 und F_2. Nimm wie in Aufgabe 8 (m) die Richtungen der obern Schnurteile und der untern Schnur auf.

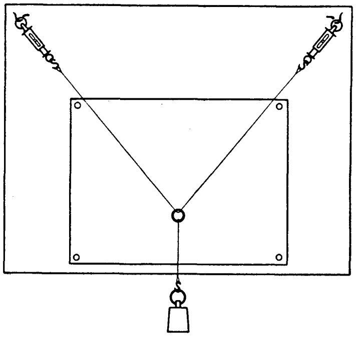

Fig. 51.

c) Zeichne das Lagebild der drei Kräfte, die am Ringe angreifen. Wähle als *Kräftemaßstab* 1 kg $\sim$ 10 cm. Ziehe eine lotrechte Linie, die die Kraftrichtung des angehängten Gewichtes F_3 kg* angibt, trage darauf den entsprechenden Kraftpfeil ab und ziehe durch dessen Endpunkte Parallele zu den Schnurteilen. Die beiden so erhaltenen andern Seiten des Kräftedreiecks stellen die Kraftpfeile der Zugkräfte in den Schnurteilen dar, die ihnen parallel laufen. Miß in dem Krafteck die Seiten, die die Zugkräfte in den Schnurteilen darstellen, berechne daraus die Zugkräfte F_1 und F_2 selbst und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen an den Wagen.

d) Verlängere im Lagebild die Richtung der untern Schnur nach oben und miß die Winkel φ_1 und φ_2, die die Schnurteile mit dieser Verlängerung bilden. Projiziere die Zugkräfte F_1 und F_2 auf jene Verlängerung und vergleiche die algebraische Summe $Y_1 + Y_2$ der so erhaltenen Komponenten mit der Kraft F_3. Projiziere die Zugkräfte F_1 und F_2 auf eine wagerechte Gerade durch ihren Angriffspunkt. Wie groß ist die algebraische Summe $X_1 + X_2$ dieser Komponenten? Welche Beziehung läßt sich zwischen F_1, F_2, F_3, φ_1 und φ_2 aufstellen?

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . . 2. Wage Nr. . . .

F_1 kg*				F_2 kg*			
Graphische Bestimmung	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Mittel	Graphische Bestimmung	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Mittel

F_3 kg*				
Messung mit 1. Wage		Messung mit 2. Wage		Mittel
Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	

φ_1	φ_2	$F_1 \cos\varphi_1 + F_2 \cos\varphi_2$		$F_1 \sin\varphi_1 + F_2 \sin\varphi_2$	
		Graphische Bestimmung	Berechnet	Graphische Bestimmung	Berechnet
	Mittel	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

f) Wiederhole die Versuche mit den Winkeln $\sim 90^0$ und $\sim 120^0$ zwischen den Schnurteilen.

g) Wie ändern sich die Zugkräfte in den Schnurteilen mit dem eingeschlossenen Winkel? Wie groß werden die Zugkräfte, wenn die beiden Teile der Schnur lotrecht, und wie groß, wenn sie wagerecht liegen?

h) Führe einen Faden aus gewöhnlichem Nähgarn durch den Ring eines 1 kg*-Stückes und fasse mit jeder Hand ein Ende des Fadens. Halte die Hände dicht zusammen und laß das Gewicht den Faden so spannen, daß beide Teile nahezu parallel liegen. Bewege die Hände langsam so auseinander, daß der Winkel zwischen den beiden Fadenteilen immer größer wird, bis schließlich der Faden zerreißt und das Gewicht zu Boden fällt. Warum zerreißt der Faden? Nimm an, daß der Faden bei einer Belastung mit 5 kg* zerreißt, und bestimme durch Zeichnung und Rechnung den Winkel, bei dem das Zerreißen eintritt.

Bemerkungen. Statt der Federwagen kann man auch Rollen und Gewichte benutzen.

Die Fragestellung und das Verfahren bei Whiting *344 Nr. 61* sind kaum nachahmungswert.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

10. Aufgabe. *Eine Schnur wird durch ein angehängtes Gewicht lotrecht gespannt und dieses dann mit einer wagerechten Schnur zur Seite gezogen. Bestimme durch Versuche und Zeichnung die Zugkräfte, die das Gewicht auf die beiden Schnüre ausübt.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 2 Hakenschrauben.
2 Federwagen bis 4 kg*, in 0,1 kg* geteilt.
Ringgewicht von 2 kg* oder 5 kg*.
Angelschnur oder Bindfaden.
Messingring von 0,5 cm Durchmesser.
Lot.
Garn.
Schere.
Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60.
Millimeterpapier.
Spiegelstreifen.
Vorstecher.
Talg.

Anleitung. a) Hänge das 2 kg*-Stück an jede Federwage, klopfe gegen das Gehäuse, ziehe schwach am Haken, lies die Zeigerstellung ab, verbessere die Ablesungen mit den Fehlertafeln der Wagen und nimm aus den so erhaltenen Werten das Mittel. (Mit einem 5 kg*-Stück und einer Wagen dieses Meßbereiches kann man die Bestimmung des Gewichts F_1 kg* nicht ausführen.)

b) Schraube in die linke obere Ecke des Wandbrettes einen Haken A (Fig. 52, S. 64) und hänge daran ein Lot und mit einem kurzen Faden den Ring der einen Federwage. Binde das eine Ende einer langen Schnur, die durch den kleinen Messingring gezogen worden ist, an den Haken dieser Federwage und das andere Ende B an ein 2 kg*- oder ein 5 kg*-Stück. Befestige am Messingring O das eine Ende einer dritten Schnur und an deren anderm Ende C den Haken der zweiten Federwage. Verbinde den Ring dieser Wage durch eine vierte Schnur, die sich verlängern und verkürzen läßt, mit einem zweiten Haken D, der so in das Wandbrett eingeschraubt ist, daß diese Seitenschnüre nahezu wagerecht liegen, wenn der Messingring einige Dezimeter über dem Gewichtstück sitzt.

c) Zeichne auf einem Bogen Papier mit einem spitzen harten Blei sorgfältig einen rechten Winkel CEA und befestige das Papier so auf dem Wandbrett, daß der Schenkel EA genau unter dem Lot und der Schenkel EC unter dem Messingring und der Schnur OC liegen. Benutze bei den endgültigen feinen Einstellungen einen kleinen Spiegelstreifen und stelle dabei das Auge so, daß der Strich auf dem Papier, die Schnur und ihr Spiegelbild in eine Gerade fallen. Verlängere und verkürze die Schnur bei D, bis der Ring O $\sim$ 15 cm vom Scheitel E des rechten Winkels absteht.

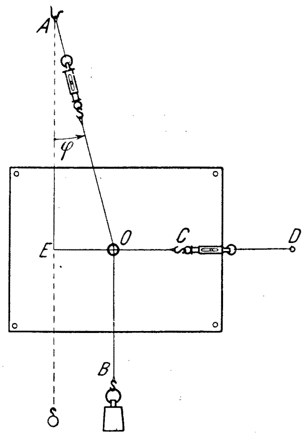

Fig. 52.

d) Zupfe schwach am untern Schnurteil OB, klopfe gegen die Wagen, prüfe ob die Einstellung noch ganz genau ist, lies die Zeiger der Wagen ab und verbessere die Ablesungen den Stellungen der Wagen entsprechend. Markiere unter Benutzung des Einstellspiegels die Richtung des Schnurteils AO durch zwei Punkte, wovon der eine nahe beim Ringe O und der andere nahe beim Haken der obern Wage liegt.

e) Vergrößere den Abstand EO in Stufen von je 10 cm, lies jedesmal beide Wagen sorgfältig ab und markiere die Richtung von AO.

f) Nimm den Papierbogen ab. Ziehe durch zwei zusammengehörige Marken die Gerade AO und stelle die Kräfte, die im Punkt O angreifen, durch ihre Kraftpfeile dar. Wähle dabei als Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 10 cm. Es seien F_1, F_2 und F_3 kg* die Zugkräfte in den Richtungen OB, OC und OA.

g) Zeichne eine lotrechte Strecke und trage darauf den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_1$ ab, ziehe durch dessen Endpunkte Parallelen zu den Richtungen OC und OA. Miß die Seiten $\mathfrak{F}_2$ und $\mathfrak{F}_3$ des so entstandenen Kräftedreiecks und berechne daraus die Zugkräfte F_2 und F_3 kg*. Vergleiche die Ergebnisse mit den verbesserten Ablesungen an den Wagen. Führe die Zeichnungen und Messungen für alle Lagen von O aus.

h) Miß in jedem Lagebild den Winkel $EAO = \varphi$ und die Seiten AE, EO und OA und berechne die Verhältnisse AE/F_1, EO/F_2 und OA/F_3 [cm/kg*]. Was für ein Dreieck ist also AEO? Welche Arbeit hätten wir uns mithin ersparen können? Durch welche geometrische Betrachtung hätten wir das sofort finden können?

i) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei EO als Abszisse und die Kräfte F_2 und F_3 als zugehörige Ordinaten.

k) Lege durch jeden Punkt O ein Achsenkreuz, dessen x-Achse mit OC und dessen y-Achse mit OB zusammenfällt. Projiziere die Kräfte auf beide Achsen, miß die in diese Richtungen fallenden Komponenten X_1, X_2, X_3 und Y_1, Y_2, Y_3 und prüfe, ob die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind. Welche Beziehung besteht zwischen F_1, F_2 und φ? *Tangentengesetz.*

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . . 2. Wage Nr. . . .

F_1 kg*					F_2 kg*			
Mit 1. Wage		Mit 2. Wage		Mittel	Graphisch bestimmt	Abgelesen	Verbessert	Mittel
abgelesen	verbessert	abgelesen	verbessert					

F_3 kg*				AE cm	EO cm	OA cm	$\frac{AE \text{ cm}}{F_1 \text{ kg*}}$	$\frac{EO \text{ cm}}{F_2 \text{ kg*}}$
Graphisch bestimmt	Abgelesen	Verbessert	Mittel					

$\frac{OA \text{ cm}}{F_3 \text{ kg*}}$	$X_1 + X_2 + X_3$		$Y_1 + Y_2 + Y_3$		φ	tg φ	F_2/F_1
	Graphisch bestimmt	Berechnet	Graphisch bestimmt	Berechnet			
Mittel	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .			

Bemerkungen. Sollte der Messingring nicht auf der Schnur AB halten, so kann man ihn mit etwas Klebwachs schwach daran befestigen. Man darf ihn auch ganz weglassen und die Schnur OC am Ende O mit einer Schleife versehen, durch die man die Gewichtschnur hindurchführt.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

11. Aufgabe. *Ein Lot wird durch eine wagerechte Kraft abgelenkt. Welche Beziehung besteht zwischen der ablenkenden Kraft und dem Ablenkungswinkel?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. HADLEY *12 Nr. 15.*

Geräte. 2 kleine Wageschalen (Pillenschachteln. | Kleine Rolle von 1 cm Durchmesser.

Geräte. Nägel. Hammer. Korke. Gewichtsatz. | Schrot. Wage. Spiegelstreifen. Garn.

Anleitung. a) Ziehe auf einem Bogen Papier etwas unter der Mitte eine Gerade *EC* (Fig. 53) und am linken Rande mit großer Sorgfalt eine Senkrechte dazu *EA*. Halte den Bogen auf das Wandbrett und schlage im Punkt *A* einen kleinen Nagel ein, hänge daran einen Faden *AB*, der eine kleine Schale trägt, deren Gewicht durch hineingelegtes Schrot auf $F_1 = 20$ [gr*] gebracht worden ist. Drehe das Papier so, daß der Faden *AB* genau über der Geraden *EA* steht und hefte dann den Bogen am Wandbrett fest. Benutze zur scharfen Einstellung einen kleinen Spiegelstreifen. Lege die Öse der Rollengabel (Fig. 54) zwischen zwei Korkscheiben, stecke einen Nagel hindurch und schlage ihn etwas unterhalb des Punktes *C* so in das Wandbrett, daß die Gerade *EC* den Rinnenboden berührt.

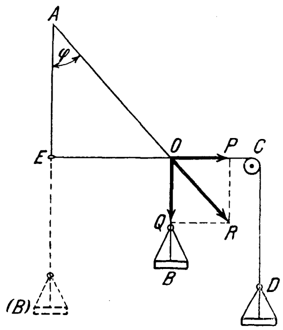

Fig. 53.

Binde das Ende eines zweiten Fadens in einer Schleife *O* um den Faden *AB*, lege den Faden *OC* über die Rolle und hänge an sein anderes Ende *D* eine Schale, deren Gewicht f_2 gr* bereits bestimmt worden ist.

b) Belaste die Schale *D* so, daß das Gesamtgewicht $F_2 = 5$ [gr*] wird. Verschiebe die Schleife *O* so auf dem Faden *AB* und drehe die Rolle so um ihren Nagel, daß der Faden *OC* genau über der Geraden *EC* steht. Benütze bei der endgültigen Einstellung einen Spiegelstreifen, zupfe dabei mehrmals schwach am Faden *OD*. Mache an der Stelle der Geraden *EC*, über der sich die Schleife *O* einstellt, einen kleinen Strich mit einem spitzen Blei und schreibe die Belastung F_2 gr* daran.

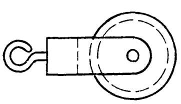
Fig. 54.

c) Wiederhole den Versuch (b) mit den Belastungen $F_2 = 10$, 15, 20 ... [gr*]. Das Gewicht F_2 gr* ist die ablenkende Kraft und der Winkel $EAO = \varphi$ der Ablenkungswinkel.

d) Nimm den Papierbogen ab und miß sorgfältig die Strecken *AE* und *EO*.

e) Zeichne bei jedem Punkt *O* die Kraftpfeile *OQ* und *OP* der Kräfte F_1 und F_2 und den Kraftpfeil *OR* der Gesamtkraft. Vergleiche die Richtungen von *OR* und *AO*. Welche Beziehungen bestehen zwischen den Richtungen der Kräfte und den Seiten des Dreiecks *AEO* und demgemäß zwischen den Verhältnissen $\operatorname{tg} \varphi = EO/AE$ und F_2/F_1? *Tangentengesetz.*

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

$F_1 = \ldots$ [gr*]. $f_2 = \ldots$ [gr*]. $AE = \ldots$ [cm].

EO cm	F_2 gr*	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{EO}{AE}$	$\frac{F_2}{F_1}$

Bemerkungen. Das Tangentengesetz ist für das Verständnis vieler magnetischer und elektrischer Meßverfahren von hervorragender Wichtigkeit. Vgl. auch Aufgabe 27.

Die kleine Hartgummirolle hat eine Stahlachse.

Eine andere Anordnung gibt Rintoul *140 Nr. 2* an. Vollkommenere Apparate zum Nachweis dieses Gesetzes haben Ayrton *91 Nr. 25* und F. C. G. Müller, *Technik d. phys. Unterr. 36* beschrieben.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

12. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht bei einem Fadenpendel zwischen der wirksamen Kraft und der Ausweichung?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Pendel (5 kg*-Stück mit Ringgriff). Rolle. Faden. Schere. Gewichtsatz. Meterstab. Ablesespiegel. Winkel. 2 Bunsengestelle.

Anleitung. a) Hänge ein 5 kg*-Stück mit Ringgriff an einem möglichst langen Faden auf. Klemme den Meterstab wagerecht so fest, daß sein Nullstrich genau hinter dem untern Ende des Pendelfadens liegt, wenn sich das Pendel in der Gleichgewichtlage befindet.

b) Befestige an dem Ringe des 5 kg*-Stückes einen zweiten Faden, versieh ihn an seinem freien Ende mit einer Schleife und führe ihn über eine Rolle. Hänge mit der Schleife ein 50 gr*-Stück an den Faden und stelle die Rolle so auf, daß der Faden senkrecht zum Pendelfaden und die Ebene durch beide Fäden parallel zum Maßstab liegt. Miß die Ausweichung x des Pendelkörpers.

c) Wiederhole die Versuche mit 100, 150, 200, 250 usw. gr*.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Wirksame Kraft F gr*	Ausweichung x cm	$k = F/x$

e) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle dabei x als Abszisse und F als Ordinate. Welche Beziehung besteht zwischen der wirksamen Kraft und der Ausweichung?

Bemerkungen. Der Ausdruck „wirksame“ Kraft bezeichnet kurz die Seitenkraft des Pendelgewichts, die senkrecht zum Faden, also in der Tangente an die Bahn wirkt. Worthington *145 Nr. 15* mißt die Kraft mit einem Kautschukfaden-Dynamometer.

Vollkommenere Apparate zum Nachweis des Sinusgesetzes, das für das Verständnis der Pendelbewegung und einiger galvanischer Meßinstrumente wichtig ist, haben Ayrton *111 Nr. 31* und F. C. G. Müller, *Technik d. phys. Unterr. 36* beschrieben.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

13. Aufgabe. *Am Ende einer Stange, die durch eine Schnur in wagerechter Stellung gehalten wird, greift eine lotrechte Kraft an. Wie groß ist die Druckkraft auf die Stange und die Zugkraft an der Schnur?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Ames-Bliss *122*.

Geräte. 2 Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*. Ringgewicht von 2 kg*. Holzstab (40 cm × 1 cm × 1 cm), in die Enden sind Nägel so weit eingeschlagen, daß die Köpfe hervorragen. Zwirnknäuel. Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60. Stahlwinkel. Kleine Fahrradkugel. Papier. Meterstab. Hakenschrauben.

Anleitung. a) Binde an einen Zwirnfaden, der ~ 1 m lang ist, das 2 kg*-Stück und bestimme mit der Federwage das Gewicht F_1 kg*.

b) Schraube am obern Rande des Wandbrettes einen Haken ein. Binde das eine Ende eines Zwirnfadens, der 10 bis 15 cm lang ist, an diesen Haken und das andere Ende an den Ring der einen Federwage. Knüpfe an den Haken dieser Wage die Schnur, die das Gewichtstück trägt. Stütze das eine Ende des Holzstabes mit seinem Nagelkopf gegen das Wandbrett und winde die Schnur, woran das Gewicht hängt, ein- oder zweimal um den Nagel am andern Stabende und zwar derart, daß der Stab nahezu rechtwinklig zum Wandbrett steht. Stelle mit einem Zeichendreieck oder einem Stahlwinkel die ganze Vorrichtung so ein, daß der Nagelkopf, womit der Stab gegen das Wandbrett drückt, nicht gleitet und der Stab auf der Wand genau senkrecht steht.

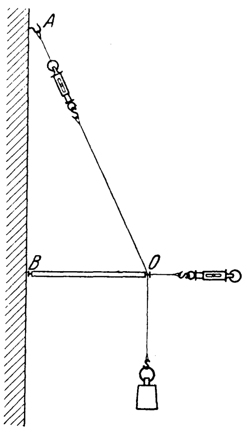

Fig. 55.

c) Im Punkt O (Fig. 55) halten sich drei Kräfte das Gleichgewicht: das lotrecht nach unten ziehende Gewicht F_1 kg*, die Zugkraft F_3 der Schnur, die in der Richtung OA wirkt und mit der Federwage gemessen wird, und der Auflagerdruck F_2 des Stabes in der Richtung BO.

d) Lies die Federwage sorgfältig ab, verbessere die Ablesung entsprechend der Stellung der Wage und miß so genau wie möglich die Längen der Seiten des Dreiecks OAB oder eines ihm ähnlichen Dreiecks. Beachte dabei, daß A der Punkt ist, wo die erforderlichenfalls verlängerte Seite OA das lotrechte Wandbrett trifft, und B der Punkt von BO, der lotrecht unter A liegt. Der Punkt O ist die Stelle des Nagels, um die man die Schnur gewunden hat. Man muß die Strecken genau zwischen diesen Punkten messen.

e) Befestige am Haken einer zweiten Federwage einen Faden und dessen andres Ende mit einer Schleife am Nagel O. Vermeide dabei sehr sorgfältig jede Störung der vorher gemachten Einstellung. Halte bei B unter den Stab einen Winkel aus Stahl und lege behutsam zwischen den Stab und den Schenkel des Winkels eine Fahrradkugel. Laß den Mitarbeiter den Zeiger der Federwage beobachten und mit allmählich wachsender Kraft genau in der Richtung BO ziehen. Beobachte dabei selbst den Nagel, mit dem sich der Stab auflagert, und rufe in dem Augenblick, wo er von der Wand weggezogen wird: „Lies“. Bei diesem Ruf liest der Mitarbeiter die Wage ab. Diese Ablesung liefert, wenn daran die Verbesserung angebracht wird, die die wagerechte Stellung der Wage erforderlich macht, die Kraft F_2 kg*.

f) Wiederhole den Versuch dreimal; ändere dabei jedesmal die Gestalt des Dreiecks OAB.

g) Ist das angehängte Gewicht im Vergleich zum Gewicht des wagerechten Stabes nicht sehr groß, so muß man dieses berücksichtigen. Die Wirkung des Stabgewichtes F_s kg* ist so groß wie die Wirkung eines gewichtlosen Stabes, der am Ende mit dem Gewicht $^1/_2\,F_s$ kg* belastet wird. Man muß also, wenn dies notwendig ist, die Kraft F_1 um $^1/_2\,F_s$ vermehren.

h) Zeichne mit dem Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 20 cm den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_1$ und ziehe durch seine Endpunkte Parallelen zu den Dreiecksseiten BO und OA. Entnimm dem so erhaltenen Krafteck die Kräfte $\mathfrak{F}_2$ und $\mathfrak{F}_3$ und vergleiche sie mit den Ablesungen an den Federwagen.

i) Zeichne das Lagebild der Kräfte. Ziehe darin durch O eine Achse lotrecht zur Achse BO. Projiziere die Kräfte auf die beiden Achsen und prüfe durch Zeichnung, ob die Gleichgewichtsbedingungen $X_1 + X_2 + X_3 = 0$ und $Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0$ erfüllt sind.

k) Berechne aus AB und BO den Winkel $BAO = \varphi$ und dann die wagerechte und die lotrechte Komponente (X_3 und Y_3) von F_3.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . . 2. Wage Nr. . . .

OA cm	BO cm	AB cm	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	F_1 kg* Abgelesen	F_1 kg* Verbessert

F_2 kg*		F_3 kg*		$F_3 \cos \varphi$	$F_3 \sin \varphi$
Abgelesen	Verbessert	Abgelesen	Verbessert		
				Mittel	. . . .

Bemerkungen. Die Aufgabe hat im Hinblick auf die Krane Bedeutung für die Technik. Vgl. über Versuche mit Modellkranen Borchardt *20 Nr. 8.* Duncan *36—38.* Eggar *113 Nr. 71.* Wells *19 Nr. 8 u. 34 Nr. 2.* Woodruff, *School Science 2, 523; 1903 u. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 16, 289; 1903.*

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

14. Aufgabe. *Welche Kräfte wirken in den einzelnen Stäben eines einfachen Sparren-Dachstuhls?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *35 Nr. 3.*

Geräte. Dachstuhlmodell (vgl. S. 71). Feste Angelschnur. Ringgewichtstück von 10 kg*. Federwage bis 10 kg*, geteilt in $^1/_4$ kg*. Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60.

Anleitung. a) Verbinde Ring und Haken der Federwage durch eine feste Schnur mit den untern Bolzen der Dachstuhlstäbe. Lies vor der Belastung des Dachstuhls die Federwage ab und verbessere die Ablesung.

b) Hänge die Last (10 kg*) an (Fig. 56), lies in der üblichen Weise die Federwage ab und verbessere die Ablesung. Miß den

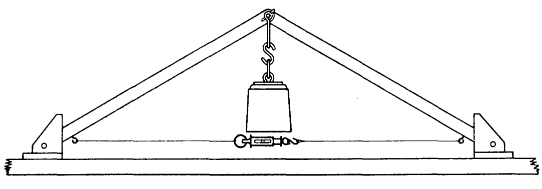

Fig. 56.

Dachstuhl aus und zeichne das Lagebild (Fig. 57*a*), wähle dabei als Längenmaßstab 1 m $\sim$ 10 cm und als Kräftemaßstab 1 kg $\sim$ 1 cm.

c) Im linken untern Knoten *I* greifen folgende Kräfte an: Die Gegendruckkraft des Auflagers, die senkrecht nach oben wirkt und gleich der halben Belastung $^1/_2\ \mathfrak{F}$ des Daches ist (das Gewicht des Stuhles wird vernachlässigt), die Druckkraft des schrägen Stabes (1) und die Zugkraft der wagerechten Schnur (2). Von der Auflagerdruckkraft sind Größe und Richtung und von den Kräften 1 und 3 die Richtungen bekannt. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *I* (Fig. 57 *b*).

d) Im Knoten *II* des Dachfirstes greifen drei Kräfte an: die Belastung $\mathfrak{F}$ kg* lotrecht nach unten und die Druckkräfte der Stäbe 1 und 3. Die Richtungen aller Kräfte und die Größe der Belastung sind bekannt. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *II* (Fig. 57 *c*). In dem Bilde ist 3 anstatt 2 zu setzen.

e) Am Knoten *III* wirken die Kräfte ähnlich wie am Knoten *I*. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *III* (Fig. 57 *d*).

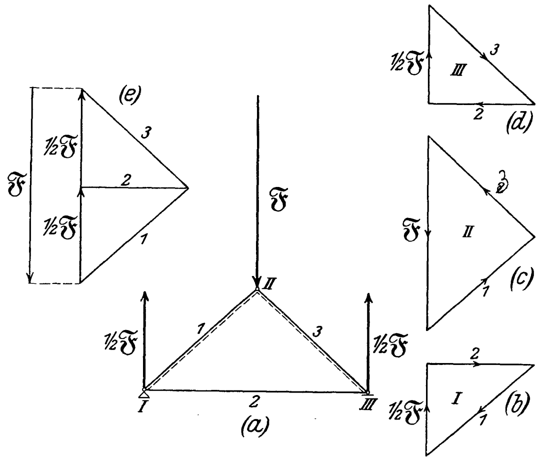

Fig. 57.

f) In den Kräftedreiecken *I* und *II* kommt die Kraft 1 und in den Kräftedreiecken *II* und *III* die Kraft 3 vor, und von den drei Kraftpfeilen jedes Dreiecks treten zwei auch in den beiden andern Dreiecken auf. Man kann daher alle drei Kraftecke in eine einzige Figur, den *Kräfteplan* (Fig. 57 *e*), zusammenziehen, der mit weniger Linien ebensoviel leistet, wie jene getrennten Kraftecke.

g) Entnimm dem Kräfteplan die Größe der Zugkraft in der Schnur (2) und vergleiche das Ergebnis mit der verbesserten Ablesung an der Federwage. Entnimm dem Kräfteplan die Druckkräfte in den Stäben 1 und 3.

Bemerkungen. Der Dachstuhl besteht aus zwei Holzstäben (90 cm × 3 cm × 1,3 cm), deren obere Enden durch einen locker sitzenden Bolzen mit Muttern zusammengefügt sind. Am Bolzen ist ein Bügel angehängt. Eine kräftige Schnur hält die unteren Enden zusammen; der Neigungswinkel sei ~ 30°. Die Federwage, die ähnlich wie in der Fig. 56 angeordnet ist, gestattet die Zugkraft in der Schnur zu messen. Beide Enden des Stuhles sind durch einen Bolzen mit einem Bock verbunden, der auf dem Grundbrett sitzt. Es ist nicht zu empfehlen, das freie Ende des einen Stabes mit einer Rolle zu versehen. Der Dachstuhl wird mit einem 10 kg*-Stück belastet, das man an den Bügel hängt. Die Schnüre kann man verkürzen und so jede gewünschte Spannweite und Neigung des Daches herstellen. Es ist ratsam, das eine Grundbrett mit einer Zwinge zu befestigen.

Eine sehr gute, wenn auch teuere Angelschnur ist die Pure Silk „Berlin“ Lines Nr. 36.

Bei dieser Aufgabe und einigen andern werden stillschweigend Verfahren der graphischen Statik verwendet. Vgl. hierüber etwa Föppl, *Techn.*

Mechanik, 2. Bd. A. Schülke, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 14, 18; 1901.* Weber-Wellstein, *Enzykl. d. Elementar-Mathem 3, 515.*

Man lasse die Aufgaben 1 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

15. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen ist ein glatter Körper auf einer glatten schiefen Ebene im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Schiefe Ebene (vgl. S. 76). Kleines Brett. Zwinge. Große Gewichtstücke mit Stabgriff als Unterlage oder Bunsengestell mit Rolle und Ring. Wagen (vgl. S. 76). 2, 2 und 5 kg*-Stück mit Stabgriff. Lot. Winkelmesser. Vollständige Zeichenausrüstung. Vgl. S. 60. Feste Angelschnur oder Bindfaden. 2 Bunsengestelle mit Rollen. 2 Wageschalen von 20 cm Durchmesser. Gewichtsatz. Endmaßstab. Millimeterpapier. Eisendraht von 5 mm Durchmesser. Garn. Schere.

Anleitung. a) Bestimme das Gewicht des Wagens f_l kg* und das der Wageschale f_k kg*.

b) Stelle mit untergeschobenen Gewichtstücken die *schiefe Ebene* unter einem *Neigungswinkel* von $\sim 20^0$ so an der Tischkante auf, daß ihr vorderer Rand ein wenig über die Tischkante vorsteht. Lege vor das untere Ende der Ebene ein 20 kg*-Stück oder ein kleines Brett, das nicht bis zum Tischrand reicht und mit einer Zwinge festgeklemmt wird. Stelle hinter dem obern Ende der schiefen Ebene ein Gestell mit einer Rolle so auf, daß diese so weit über den anstoßenden Tischrand hinausragt, daß sich später der lotrechte Teil der Schnur frei bewegen kann. Hefte mit Reißnägeln den Winkelmesser längs dem Striche oben an der Seite des Brettes so an, daß sein Durchmesser genau mit dem Strich zusammenfällt und sein Mittelpunkt dicht unter dem kleinen Stift liegt (Fig. 58). Hänge ein Lot an den Stift, miß den Winkel β, den die schiefe Ebene mit dem Lot bildet, und berechne daraus den Neigungswinkel α der schiefen Ebene.

c) Lege auf die schiefe Ebene die Glasplatte, setze den Wagen darauf, knüpfe an seine untere Öse eine Schnur, führe diese über die Rolle und binde an ihr freies Ende die Wageschale. Stelle die Rolle so ein, daß die Schale frei hängt, und das Schnurstück zwischen Wagen und Rolle der schiefen Ebene parallel läuft und mit deren langen Mittellinie in einer Ebene liegt. Setze das 5 kg*-Stück in den Wagen und lege so viel Gewichtstücke auf die Schale, daß sich der Wagen, wenn man leise auf das Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinauf bewegt. Das in die Schale gelegte Gewicht sei F_o kg*. Nimm so viele Gewichtstücke heraus, bis sich der Wagen, wenn man leise auf das Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinab bewegt. Die Belastung der Schale sei diesmal F_u kg*.

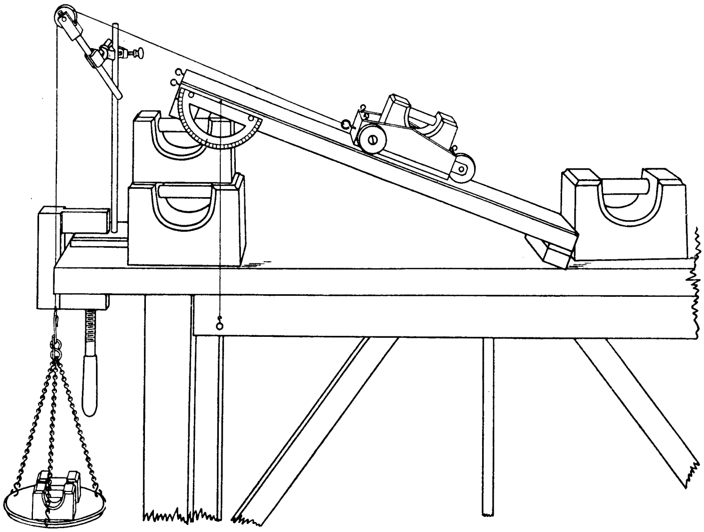

Fig. 58.

d) Wiederhole die beiden Einstellungen dreimal. Das Hauptmittel F_k' aus den erhaltenen Mittelwerten von F_o und F_u ist die Größe der Schalenbelastung.

e) Auf den Wagen wirken zwei Kräfte: 1. lotrecht nach unten die Summe F_l kg* aus dem Gewicht des Wanges f_l kg* und dessen Belastung F_l' kg* und 2. die schiefe Ebene aufwärts die Zugkraft an der Schnur F_k kg*, die gleich ist der Summe des Schalengewichts f_k kg* und der darauf liegenden Gewichte F_k' kg*.

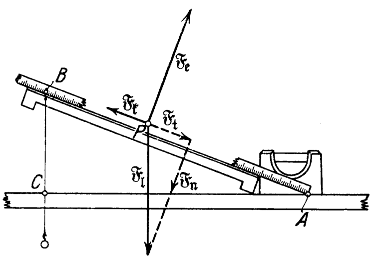

Fig. 59.

f) Lege einen Endmaßstab mit der geteilten Kante so auf den vordern Rand der schiefen Ebene, daß das eine Ende im Punkt A (Fig. 59) die Tischfläche berührt. Markiere diesen Punkt und miß seinen Abstand $AC = b$ cm vom Punkt C. C ist der Punkt der vordern Tischkante, der hinter dem Lot liegt, das an dem kleinen Stift hängt. Miß längs dem Lote den Abstand des Punktes C von der obern Kante des Brettes, $CB = h$ cm, und dann noch $AB = l$ cm. Statt des Lotes kann man auch eine Reißschiene benutzen, dann darf aber die Vorderseite der schiefen Ebene nicht über den Tischrand hinausragen. Zeichne mit dem Längenmaßstab 1 cm $\sim$ 1 mm das Dreieck ABC. Wähle als Angriffstelle der Kräfte einen Punkt P, der ungefähr die Lage des Schwerpunktes des belasteten Wagens hat, und trage daran mit dem Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 2 cm die beiden Kraftpfeile $\mathfrak{F}_f$ und $\mathfrak{F}_l$ an. Ist der Wagen in den Pfeilrichtungen der Kräfte $\mathfrak{F}_f$ und $\mathfrak{F}_l$ beweglich? Zerlege die Kraft $\mathfrak{F}_l$ in zwei Komponenten, $\mathfrak{F}_t$ parallel zur schiefen Ebene und $\mathfrak{F}_n$ senkrecht dazu. Vergleiche die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte $\mathfrak{F}_f$ und $\mathfrak{F}_t$ miteinander. Wie lautet die Bedingung für das Gleichgewicht des Wagens auf der schiefen Ebene? Lege unter den Zeichenbogen ein Blatt Papier und stich die Ecken des Dreiecks durch, das die Kräfte $\mathfrak{F}_l$, $\mathfrak{F}_t$ und $\mathfrak{F}_n$ einschließen. Zeichne das so durchgepauste Dreieck, schneide es aus und suche es so auf das Dreieck ABC zu legen, daß die eine Ecke mit A und die Richtungen zweier Seiten zusammenfallen. Wie sind die beiden Dreiecke miteinander verwandt? Durch welche geometrische Betrachtung hätte man diese Erkenntnis viel bequemer gewinnen können? Welche Beziehungen bestehen zwischen h, l, a, $\mathfrak{F}_f$ und $\mathfrak{F}_l$? Ist es notwendig, b, h und l zu messen, wenn man a mit dem Winkelmesser bereits bestimmt hat?

g) Wie wirkt die Komponente $\mathfrak{F}_n$ auf den Wagen und daher dieser auf die schiefe Ebene ein? Welche Rückwirkung übt die schiefe Ebene auf den Wagen aus? Welche Kraft müßte man in P anbringen, damit sich dieser Punkt auch dann im Gleichgewicht befindet, wenn man die schiefe Ebene wegnimmt? *Ersatzkraft.* Gib Größe und Pfeilrichtung der Ersatzkraft $\mathfrak{F}_e$ an.

h) Binde an die vier kleinen Ösen in den obern Ecken des Wagens Schnüre, knote sie mit einer fünften festen Schnur zusammen und führe diese senkrecht zur schiefen Ebene über eine Rolle an einem zweiten Gestell. Befestige am freien Ende dieser Schnur eine Schale von bekanntem Gewicht und belaste sie so stark, daß der Wagen eben von der schiefen Ebene abgehoben wird. Wie groß ist diese Zugkraft? Vergleiche sie nach Größe und Pfeilrichtung mit der Komponente $\mathfrak{F}_n$ des Gewichts $\mathfrak{F}_l$. Zeichne die Ersatzkraft $\mathfrak{F}_e$ in das Lagebild ein. Projiziere die Kräfte, die im Punkt P angreifen, auf die Richtungen der Schnur $\mathfrak{F}_f$ und der Schnur $\mathfrak{F}_e$. Prüfe durch Zeichnung und Rechnung, ob die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind.

i) Zeichne das Kräftedreieck $\mathfrak{F}_l$, $\mathfrak{F}_f$ und $\mathfrak{F}_e$. Beginne mit $\mathfrak{F}_l$ und ziehe durch die Endpunkte dieses Kraftpfeils die Parallelen zum Schnurzug und zur Ersatzkraft. Wie kann man auch die Gleichgewichtsbedingung für den Wagen auf der schiefen Ebene aussprechen? Welche Verwandtschaft besteht zwischen dem Kräftedreieck, dem Dreieck der schiefen Ebene ABC und dem Dreieck des Lagebildes, dessen Seiten $\mathfrak{F}_l$, $\mathfrak{F}_t$ und $\mathfrak{F}_n$ sind?

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schiefe Ebene Nr. . . . Wagen Nr. . . . Gewicht des Wagens $f_l = \ldots$ [kg*]. Wageschale Nr. . . . Gewicht der Schale $f_k = \ldots$ [kg*].

β	Neigungswinkel α	Höhe h cm	Länge l cm	sin α: $\frac{h}{l}$	sin α: Tafelwert	sin α: Mittel

Zugkraft an der Schnur in kg*: F_o	F_u	F_k'	$F_k = f_k + F_k'$	Last in kg*: F_l'	$F_l = f_l + F_l'$	$\frac{F_k}{F_l}$	$\frac{F_k}{F_l}$ — sin α
						Mittel	. . . .

Arbeitsaufwand $F_k \cdot l$ kg* cm	Arbeitsleistung $F_l \cdot h$ kg* cm	Arbeitsgewinn $F_k \cdot l - F_l \cdot h$	Widerstand der Reibung $F_r = \frac{1}{2}(F_o - F_u)$ [kg*]	Arbeitsverlust durch Reibung $F_r \cdot l$ kg* cm	Gesamter Arbeitsaufwand $F_a \cdot l$ kg* cm	Mechanischer Wirkungsgrad $\eta = \frac{F_l}{F_a} \cdot \frac{h}{l}$
	Mittel	. . . . .				

l) Wie groß ist das *Übersetzungsverhältnis* F_l/F_k der schiefen Ebene? Durch welche Größen der schiefen Ebene ist es eindeutig bestimmt? Welchen Vorteil bietet die schiefe Ebene?

m) Berechne die *positive Arbeit,* die die Zugkraft F_k kg* leistet, wenn sie den Wagen auf der schiefen Ebene die Strecke l cm hinaufzieht. Um wieviel Zentimenter wird dabei der Wagen in lotrechter Richtung gehoben? Welche *negative Arbeit* wird dabei am Gewicht F_l kg* geleistet? Vergleiche die beiden Arbeiten miteinander. Wird bei der schiefen Ebene Arbeit gewonnen oder verloren?

n) Wir haben, um den Einfluß der *Reibung* auszuschalten, F_k' als Mittel aus F_o und F_u berechnet. Bezeichnet F_r kg* den Widerstand der Reibung, so ist

$$F_o = F_k' + F_r \quad \text{und} \quad F_u = F_k' - F_r,$$

mithin

$$F_k' = \tfrac{1}{2}(F_o + F_u) \quad \text{und} \quad F_r = \tfrac{1}{2}(F_o - F_u).$$

Wird der Wagen auf der schiefen Ebene um die Länge l cm hinaufgezogen, so wird nicht die Arbeit $F_k \cdot l$ kg* cm, sondern die

Arbeit $F_a \cdot l$ kg* cm aufgewandt, wo $F_a = f_k + F_o$ ist, und es gehen durch Reibung $F_r \cdot l$ kg* cm verloren. Die Nutzarbeit ist $F_l \cdot h$ kg* cm und der gesamte Arbeitsaufwand $F_a \cdot l$ kg* cm. Verläuft die Bewegung in t Sekunden, so ist die *Nutzleistung* $L_l = F_l\, h/t$ [kg* cm/sek] und die gesamte aufgewandte Leistung $L_h = F_a\, l/t$ [kg* cm/sek], mithin der *Wirkungsgrad* der schiefen Ebene

$$\eta = \frac{F_l}{F_a} \cdot \frac{h}{l}.$$

o) Wiederhole die Versuche, Zeichnungen und Rechnungen (b) bis (n) mit den Neigungswinkeln 30°, 45° und 60°. Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = \sin\alpha$ und $y = F_k$.

p) Wiederhole die Versuche, Zeichnungen und Rechnungen (b) bis (n) bei einer Belastung des Wagens mit 2 und 4 kg*. Stelle die Ergebnisse für denselben Neigungswinkel durch eine Kurve dar, wähle dabei F_l als Abszisse und F_k als Ordinate.

q) Biege aus 5 mm starkem Eisendraht einen leichten fünfeckigen Rahmen und lege ihn so um das Gewichtstück auf dem Wagen, daß jetzt die Zugkraft der Schnur in ~ 20 cm Höhe über dem Tisch parallel zur Grundfläche der schiefen Ebene wirkt. Verfahre ähnlich wie bei (b) bis (p). Unter welcher Bedingung herrscht jetzt Gleichgewicht?

r) Schreibe die Ergebnisse ähnlich wie in (k) auf. Welche Größen ersetzen hier l und $\sin\alpha$?

Bemerkungen. Als schiefe Ebene dient ein Brett (~ 75 cm × 18 cm × 3 cm) aus Mahagoni-, Elsen- oder Kiefernholz, das ganz trocken und frei von Knoten, Rissen u. dgl. ist. Da es auch zur Anstellung von Reibungsversuchen benutzt wird, ist die obere Seite sehr sorgfältig gehobelt und geglättet. Auf die Unterseite sind an den kurzen Kanten zwei schmale Leisten geschraubt. Nahe der obern Längskante und nahe dem obern Ende des Brettes ist auf beiden Seiten ein Strich genau parallel der obern Kante eingeritzt und dicht über seiner Mitte ein kurzer dünner Stift so eingeschlagen, daß sein Umfang die Gerade berührt. Beim Gebrauch heftet man einen Winkelmesser aus Karton mit Reißnägeln so auf die Seite des Brettes, daß sein Durchmesser mit dem Strich zusammenfällt und sein Mittelpunkt dicht unter der Achse des Stiftes liegt. An den Stift hängt man ein Lot. Das Brett lagert man schräg auf ein oder zwei Gewichtstücke mit Stabgriff. Man kann aber auch an den Enden der obern Stirnfläche zwei Ösen einschrauben, daran die Enden einer Schnur und an deren Mitte eine andere Schnur binden und diese über eine Rolle oder durch einen Ring führen. Um das Ausgleiten der schiefen Ebene zu verhindern, legt man vor ihr untres Ende ein 20 kg*-Stück oder ein Brett und klemmt dieses mit einer Zwinge fest. Auf die obere Seite des Brettes legt man eine Glasplatte von gleicher Größe.

Der Wagen besteht aus einem Holzkasten (~ 18 cm × 13 cm), der innen gerade so groß ist, daß ein 5 kg*-Stück mit Stabgriff darin Raum findet, und aus drei leicht drehbaren Rollen aus hartem Holz von ~ 5 cm Durchmesser. An den vier obern Ecken des Wagenkastens sind kleine Ösen und zwischen dem Räderpaar eine größere Öse eingeschraubt. Der Schwerpunkt des Wagens soll möglichst tief liegen.

Andere Formen der schiefen Ebene haben beschrieben: Adams *51 Nr. 16.* Allen *249.* Duncan *40.* Gregory-Simmons *1, 152 Nr. 91.* Kerr *1, 32.*

Müller, *Techn. d. phys. Unterr.* 26 *Nr.* 21. Stroud 77 *Nr.* 27. Wells 22 *Nr.* 9.

Statt Schnur, Rolle und Gewicht kann man eine Federwage verwenden. Wirkt die Kraft parallel der schiefen Ebene, so muß der Meßbereich etwas größer als F_l kg* und der Neigungswinkel nicht kleiner als 30° sein. Wirkt die Kraft parallel der Basis der schiefen Ebene, so soll, wenn der größte benutzte Neigungswinkel 60° ist, der Meßbereich der Federwage 2 F_l kg* betragen. Die Ablesungen der Federwage sind ihren Stellungen entsprechend zu verbessern. Ein Schüler zieht und ein andrer liest ab.

Von den Kräften, die auf den Wagen wirken, sind Richtung und Größe leicht festzustellen. Schwierigkeiten bereitet die Angriffstelle. Es empfiehlt sich die Annahme, daß sie mit dem Schwerpunkt von Wagen und Belastung zusammenfalle.

Man lasse die Versuche (a) bis (n), (o), (p) und (q) nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs von verschiedenen Gruppen gleichzeitig ausführen und den Versuch (h), den man selbst sorgfältig überwacht, nur an einem Apparat.

IV. Reibung.

16. Aufgabe. *Welche Kraft ist erforderlich, um bei einer bestimmten Normalkraft die Reibung zwischen Holz und Holz zu überwinden?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Reibungsbrett (vgl. S. 76). Schlitten (vgl. S. 79). Universalrolle. Wageschale von 20 cm Durchmesser. Seidenschnur von 1,5 bis 2 mm Durchmesser oder Angelschnur. Feines Schmirgelpapier. Millimeterpapier. Scheibengewichte von 0,01 bis 0,5 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 5, 10 und 10 kg*. Wasserwage.

Anleitung. a) Reibe mit feinem Schmirgelpapier das Reibungsbrett und den Schlitten sorgfältig ab. Klemme die Zwinge der Universalrolle an den Rand des Tisches und schiebe das eine Ende des Reibungsbrettes dicht an die Zwinge (Fig. 60). Prüfe mit der Wasserwage, ob das Brett wagerecht liegt, und stelle es, wenn dies nicht der Fall ist, mit untergeschobenen Keilen genau wagerecht. Klemme das Brett am Tisch fest oder lege ein 10 oder 20 kg*-Stück auf sein hintres Ende. Öle die Rolle und sieh

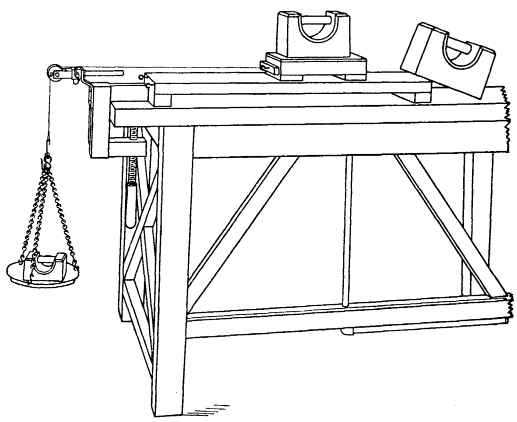

Fig. 60.

nach, ob sie sich ganz frei bewegt und ob die Wageschale freien Spielraum hat.

b) Wäge den Schlitten nebst Deckplatte und die Wageschale.

c) Setze den Schlitten auf den hintern Teil des Reibungsbrettes, lege die Schnur über die Rolle und hake die Wageschale an. Stelle die Rolle so, daß die Schnur parallel der Längsachse des Brettes in einer Höhe von $\sim$ 2,5 cm läuft.

d) Belaste den Schlitten mit einem 5 kg*-Stück. Welche Kraft drückt den Schlitten gegen das Brett? Wie wirkt die Schnur auf den Schlitten? Da er sich nicht bewegt, ist darin eine Kraft erregt worden, die wagerecht gerichtet ist und der Zugkraft der Schnur das Gleichgewicht hält. *Reibungskraft.* Lege nach und nach so viele Gewichte auf die Schale, bis der Schlitten beginnt, sich von selbst längs dem Brett zu bewegen. Achte auf die Art der Bewegung. Ist sie gleichförmig oder beschleunigt? Ist die Reibung eine veränderliche Kraft? Ist dieselbe Kraft erforderlich, um den Schlitten in Bewegung zu setzen wie um ihn in Bewegung zu erhalten? Wächst die Reibung bis zu einer bestimmten Grenze? *Grenzwert der Reibung.*

e) Belaste den Schlitten der Reihe nach mit 10, 15 und dann mit 15, 10 und 5 kg* und wiederhole den Versuch (d).

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . -Reibungsbrett Nr. . . . . . . -Schlitten Nr. . . . Die Fasern von Brett und Schlitten . . . Länge des Schlittens l_1 = . . . [cm]. Breite des Schlittens l_2 = . . . [cm]. Gewicht von Schlitten und Deckplatte f_n = . . . [kg*]. Gewicht der Schale f_r = . . . [kg*].

Belastung des Schlittens F_n' kg*		Gewicht des Schlittens und der Belastung $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale F_s' kg*			Reibung der Ruhe $F_s = f_r + F_s'$
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

g) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = F_n$ und $y = F_s$.

h) Wiederhole die Versuche (d) und (e) mit den gleichen Belastungen des Schlittens. Lege jedesmal nur so viele Gewichte auf die Schale, daß sich der Schlitten gleichförmig weiterbewegt, sobald er durch einen schwachen Anstoß oder durch einen kräftigen Puff gegen das Ende des Reibungsbrettes in Bewegung gesetzt worden ist. Gleitet der Schlitten mit wachsender Geschwindigkeit, so muß man aus der Schale Gewichte entfernen, bewegt er sich aber nur ruckweise, so muß man Gewichte zulegen.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Belastung des Schlittens F_n' kg*		Gewicht des Schlittens und der Belastung $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale F_k' kg*			Reibung der Bewegung $F_k = f_r + F_k'$
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

k) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze $x = F_n$ und $y = F_k$, benutze dabei dasselbe Achsenkreuz wie bei (g).

l) Ist die Kraft F_s, die erforderlich ist, um den Schlitten aus der Ruhelage herauszubewegen, größer als die Kraft F_k, die erforderlich ist, um ihn mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortzuziehen, nachdem er einmal in Bewegung gesetzt worden ist? Gleitet der Schlitten, sobald er aus der Ruhelage herausgezogen worden ist, mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter? Wie kann man die Geschwindigkeitsänderung erklären? *Reibung der Ruhe oder stationäre Reibung. Reibung der Bewegung oder kinetische Reibung.* Bei den folgenden Versuchen wird stets nur die gleitende Reibung der Bewegung untersucht.

Bemerkungen. Der Schlitten (Wells *115*) besteht aus demselben Holz wie das Reibungsbrett oder aus Eichen- oder Kirschbaumholz. Die Größe ist $\sim$ 24 cm $\times$ 15 cm $\times$ 5 cm. Die Fasern des Holzes laufen parallel zur Breite des Schlittens, also quer zu den Fasern des Reibungsbrettes. Auf der untern Seite des Schlittens ist ein Teil des Holzes entfernt, so daß die übrig bleibende Fläche genau halb so groß ist wie die obere Seite (Fig. 61). Die beiden Gleitflächen des Schlittens sind genau eben gehobelt und geglättet. Auf die eine Stirnfläche ist eine Querleiste von 2 cm Breite und 1,5 cm Dicke aufgeschraubt und in die Mitte eine kleine Öse so eingesetzt, daß die Zugschnur $\sim$ 2,5 cm über der Gleitfläche des Reibungsbrettes liegt. An der Öse befestigt man eine Angelschnur oder starke Seidenschnur von $\sim$ 1,5 bis 2 mm Durchmesser und solcher Länge, daß die Wageschale, wenn der Schlitten am hintern Ende des Reibungsbrettes sitzt, eben frei von der Rolle hinabhängt. Die obere Fläche des Schlittens schützt man mit einem leichten Holzbrett.

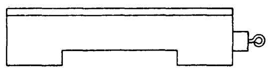

Fig. 61.

Bei den Aufgaben 16 bis 18 kann man statt Rolle, Schnur und Gewicht auch eine Federwage benutzen, doch muß man ihren Meßbereich richtig wählen; die Reibungskraft muß in die obere Hälfte des Meßbereichs fallen. Die Wage ist bequemer abzulesen, wenn man ihren Ring an einem festen Gegenstand und ihren Haken am Schlitten befestigt und das Reibungsbrett mittels Öse und Schnur darunter fortzieht. Das Reibungsbrett muß dann mindestens 1 m lang sein, und bei jeder Verschiebung sind $\sim$ 5 Ablesungen zu machen.

Das Gebiet der Reibung gehört zu den dunkelsten Winkeln der Physik. Wirkt auf einen freien Körper von der Masse m die Kraft F, so erzeugt sie eine Beschleunigung b. Steht der Körper mit einem andern in Berührung, so tritt oft an die Stelle der Gleichung $F = mb$ die Ungleichung $F > mb$. Diese Ungleichung verwandelt man durch die Annahme einer Reibung F_r zwischen den beiden Körpern in die Gleichung $F = mb + F_r$. Das ist für die Rechnung bequem und für die weitere Untersuchung zweckmäßig. Unbefriedigend bleibt aber manchmal die Unklarheit darüber, was alles in dem F_r steckt. Die Schüler sind dazu zu erziehen, immer die Reibungswiderstände zu beachten, davor aber zu bewahren, daß die experimentelle Bestimmung der Reibung oder dessen, was man hie und da so nennt, sie bereits befriedigt und beruhigt. Es ist ja edel von der Reibung, daß sie immer der schwächern Kraft hilft, das Gleichgewicht herzustellen, ihren zuweilen dunkeln Charakter darf man aber nicht übersehen. Einige leugnen das Vorhandensein der Reibung der Ruhe unterhalb des sogenannten obern Grenzwertes. Manche halten die Richtung der Reibungskraft beim Gleichgewicht für unbestimmt, andere hingegen sagen, daß die Richtung jederzeit der Bewegung entgegengesetzt sei, die wirklich stattfindet oder auch nur erstrebt wird. Mißlich ist auch die Frage nach der Angriffstelle. Liegt der Schwerpunkt so tief, daß kein Umkippen des Gleitkörpers eintreten kann, so ist die Annahme bequem, daß der Schwerpunkt die Angriffstelle sei. Bei den Übungen kommt man kaum in die Lage, diese Frage gründlicher zu erörtern.

Es empfiehlt sich, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

17. Aufgabe. *Ändert sich die gleitende Reibung zwischen Holz und Holz mit der Normalkraft?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte wie bei Aufgabe 15, dazu Stabgewichte 1, 2, 2 kg* und schwarzes Garn.

Anleitung. **a)** Verfahre genau wie in Aufgabe 15 (a) (b) (c) und (h). Laß zunächst den angestoßenen unbelasteten Schlitten mit gleichförmiger Geschwindigkeit gleiten, belaste ihn dann der Reihe nach mit 5, 10 und 15 kg* und entlaste ihn dann in umgekehrter Reihenfolge.

b) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Reibungsbrett Nr. ... ... Schlitten Nr. ... Die Fasern von Brett und Schlitten .... Länge des Schlittens $l_1 = \ldots$ [cm]. Breite des Schlittens $l_2 = \ldots$ [cm]. Gewicht von Schlitten und Deckplatte $f_n = \ldots$ [kg*]. Gewicht der Schale $f_g = \ldots$ [kg*].

Belastung des Schlittens F_n' kg*		Normalkraft $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale F_g' kg*			Gleitende Reibung $F_g = f_g + F_g'$	Reibungskoeffizient $\frac{F_g}{F_n}$
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel		

Mittel $\mu = \ldots\ldots$

c) Ändert sich die Kraft der gleitenden Reibung mit dem Druck? Wie groß würde bei jedem Versuch die gleitende Reibung sein, wenn die Normalkraft nur 1 kg* wäre? Ist das Verhältnis F_g/F_n überall das gleiche?

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = F_n$ und $y = F_g$. Spanne einen schwarzen Faden so aus, daß die erhaltenen Punkte auf beiden Seiten möglichst gleichmäßig verteilt sind. Markiere mit einem Bleistift die Fadenrichtung durch zwei weit voneinander entfernte Punkte und ziehe die Gerade. Die Abweichungen der Punkte von der Geraden stellen die Beobachtungsfehler und die Gerade selbst die wahre Beziehung zwischen Normalkraft und gleitender Reibung dar. Welche Bedeutung hat der Tangens des Neigungswinkels? Berechne den Mittelwert μ der Verhältnisse F_g/F_n und vergleiche ihn mit dem Tangens. *Koeffizient der gleitenden Reibung.*

Bemerkungen. Man kann auch den sogenannten Reibungsverlust der Rolle bestimmen und damit die Werte von F_g verbessern.

Mißt man mit der Stechuhr die Zeit t sek, in der der Schlitten beim Gleiten die markierte Strecke s cm zurücklegt, so ist, wenn F kg* das Gewicht von Schale nebst Belastung angibt, die Kraft der gleitenden Reibung

$$F_g = F - (F_n + F) \cdot \frac{2\,s}{g\,t^2}$$

und der Koeffizient der gleitenden Reibung $\mu = F_g/F_n$. Dieses Verfahren kann man anwenden, wenn die Schüler bereits mit den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung vertraut sind.

Einen beachtenswerten Apparat beschreibt Duff *115 Nr. 19.*

Es empfiehlt sich, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

18. Aufgabe. *Hängt die gleitende Reibung von Holz auf Holz von der Größe der sich berührenden Flächen ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 17.

1. Verfahren.

Anleitung. a) Verfahre wie bei Aufgabe 17 (a), benutze dabei die große Gleitfläche des Schlittens.

b) Wiederhole die Versuche mit der kleinen Gleitfläche des Schlittens und den gleichen Belastungen.

c) Schreibe die Ergebnisse wie bei der vorigen Aufgabe auf und stelle sie dann in folgender Tafel zusammen:

Normalkraft F_n kg*	Reibung F_g kg*		Reibungskoeffizient μ	
	Große Fläche	Kleine Fläche	Große Fläche	Kleine Fläche
		Mittel	. . . .	. . . . .

d) Hängt der Reibungskoeffizient von der Größe der Gleitfläche ab?

2. Verfahren.

Literatur. Wells *122 Nr. 8.*

Anleitung. e) Verfahre wie bei (a), benutze dabei Belastungen des Schlittens von 5, 10 und 15 kg* und die große Gleitfläche des Schlittens. Miß die Zeit, die der Schlitten gebraucht, um sich von einer Marke am Reibungsbrett bis zu einer zweiten zu bewegen.

f) Benutze die kleine Gleitfläche des Schlittens, belaste den Schlitten und die Wageschale genau mit den gleichen Gewichten wie bei (e) und prüfe, ob auch die Geschwindigkeit so groß ist wie vorher. Ändere, wenn dies nicht der Fall ist, die Belastung der Schale, bis die Geschwindigkeit dieselbe wird.

g) Schreibe die Ergebnisse der Versuche wie in Aufgabe 17 und in (c) auf. Prüfe, ob der Koeffizient der gleitenden Reibung von der Größe der sich berührenden Flächen abhängt.

Bemerkungen. Die Ergebnisse liefern namentlich bei dem 1. Verfahren keine entscheidende Antwort auf die gestellte Frage.

Man kann bei den Aufgaben 16 bis 18 auf das Reibungsbrett glattes Papier, Sandpapier, Scheiben aus glattem, mattem und rauhem Glas, Tafeln aus Messing, Schiefer, Kautschuk, Leder usw. legen. Man kann auch Schlitten aus verschiedenem Holz, dessen Fasern parallel oder quer zu denen des Grundbretts verlaufen, ferner Schlitten, deren Gleitflächen mit Papier usw. beklebt sind, oder Schlitten aus beliebigen andern Stoffen benutzen. Wertvoll ist es, die Aufgaben 16 bis 18 mit einer Reibungsplatte aus Gußeisen (90 cm $\times$ 18 cm $\times$ 3 cm) und einem gußeisernen Schlitten von derselben Größe wie der Holzschlitten auszuführen. Man gieße dann auch auf die Reibungsplatte gewöhnliches Maschinenöl, bewege, um das Öl gleichmäßig zu verteilen, den Schlitten vor- und rückwärts und verfahre sonst wie vorher. Es ist dabei zu prüfen, ob bei Verwendung dieses Schmiermittels oder eines andern, wie Graphit, die Reibungsgesetze bestehen bleiben.

Da die Reibungsversuche keine recht vergleichbaren Ergebnisse liefern, so empfiehlt es sich, gleichzeitig die Versuche mit verschiedenen Körpern ausführen zu lassen. Auch ist es ratsam, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

19. Aufgabe. *Welches sind die Bedingungen des Gleichgewichts und des Gleitens von Flächen, die gegen die Wagerechte geneigt sind?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 17, dazu: zwei 5 oder 10 kg*-Stücke. Lot. Winkelmesser. Maßstab. Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Lege das Reibungsbrett so auf ein 20 kg*-Stück (oder auf zwei aufeinander gestellte 5 kg*- oder 10 kg*-Stücke), daß das eine Ende auf dem Tisch ruht und das andere sich auf das Gewicht stützt (Fig. 62). Stelle ein Gewichtstück vor das untere Ende des geneigten Brettes und hindere es so am Ausgleiten.

b) Setze den Schlitten auf das obere Ende des Brettes, belaste ihn mit 5 kg* und vergrößere oder verkleinere durch Verschieben des untergelegten Gewichtstückes nach innen oder außen den Neigungswinkel, bis sich der Schlitten mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinabbewegt, wenn er mit der Hand schwach angestoßen wird.

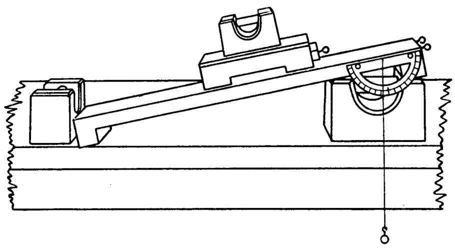

Fig. 62.

c) Bestimme den Neigungswinkel der schiefen Ebene wie in Aufgabe 15 (a) und (f).

d) Wiederhole die Versuche mit den Belastungen 10 und 15 kg* und miß jedesmal den Neigungswinkel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . . Reibungsbrett Nr. . . .   . Schlitten Nr. . . .
Gewicht des Schlittens $f =$ . . . [kg*].

Belastung des Schlittens F' kg*	Gewicht von Schlitten und Belastung $F = f + F'$	Grundlinie b cm	Höhe h cm	β	Reibungswinkel ϱ	tg ϱ		
						$\frac{h}{b}$	Tafelwert	Mittel
							Hauptmittel	. . . .

f) Entwirf mit dem Längenmaßstab 1 cm $\sim$ 1 mm und dem Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 2 cm das Lagebild der schiefen Ebene und des Schlittens, wähle dabei als Angriffstelle der Kräfte den Schwerpunkt des Schlittens und seiner Belastung. In dem Augenblick, wo das Gleiten beginnt, wirken auf den Schlitten zwei Kräfte: senkrecht nach unten $\mathfrak{F}$ kg*, das Gewicht des Schlittens und seiner Belastung, und parallel zur schiefen Ebene aufwärts die Kraft der Reibung $\mathfrak{F}_g$ kg*. In welcher Richtung wird die Bewegung des Schlittens gehemmt? Zerlege $\mathfrak{F}$ in zwei Komponenten, in $\mathfrak{F}_n$, die rechtwinklig gegen die schiefe Ebene drückt, und in $\mathfrak{F}_t$, die parallel zur schiefen Ebene abwärts zieht. Da die Bewegung die schiefe Ebene abwärts mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt, so müssen sich die Kräfte $\mathfrak{F}_t$ und $\mathfrak{F}_g$ das Gleichgewicht halten. Welchen Winkel schließen die Kräfte $\mathfrak{F}$ und $\mathfrak{F}_n$ ein? Welche Beziehung besteht also zwischen F_n, F_t und ϱ und folglich zwischen F_n, F_g und ϱ? Wie groß ist also der Koeffizient der gleitenden Reibung $\mu = F_g/F_n$? Berechne aus den Versuchsergebnissen tg ϱ und daraus als Mittelwert den Koeffizienten der gleitenden Reibung.

g) Der belastete Schlitten drückt senkrecht auf die schiefe Ebene und diese übt einen Druck, der ebenso groß, aber entgegengesetzt gerichtet ist, auf den Schlitten aus. Wenn wir diese Ersatzkraft $\mathfrak{F}_e$ im Schwerpunkt anbringen und die schiefe Ebene wegnehmen, so bleibt der Schlitten im Gleichgewicht. Wir können daher auch sagen, daß in dem Augenblick, wo das Gleiten des Schlittens beginnt, auf den Schwerpunkt des Schlittens die Kräfte $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_g$ und $\mathfrak{F}_e$ wirken. Projiziere in dem Lagebild die drei Kräfte auf die Richtungen von $\mathfrak{F}_g$ und $\mathfrak{F}_e$. Wie groß ist der Winkel zwischen $\mathfrak{F}_e$ und $\mathfrak{F}$? Bestimme durch Zeichnung und Rechnung die Gleichgewichtsbedingungen. Berechne daraus F_g, F_n und μ.

h) Zeichne das Kräftedreieck. Bekannt sind Größe und Pfeilrichtung von $\mathfrak{F}$ und die Pfeilrichtungen von $\mathfrak{F}_g$ und $\mathfrak{F}_e$. Kommt in dem Dreieck der Reibungswinkel ϱ vor? Entnimm aus dem Dreieck die Größe von F_g und F_n und berechne daraus den Koeffizienten der gleitenden Reibung.

Bemerkungen. Mit der schiefen Ebene kann man auch den Reibungskoeffizienten der Ruhe bestimmen, wenn man sie so weit neigt, daß der Schlitten ohne Anstoß von selbst die schiefe Ebene hinabgleitet.

Andere Apparate haben beschrieben: Ames-Bliss *146 Nr. 25* und Duff *90 Nr. 16.*

Die Messung der Reibungskraft auf der schiefen Ebene mit der Federwage ist nicht besonders zu empfehlen; sie erfordert weitere theoretische Betrachtungen, vgl. z. B. Cumming *101 Nr. 43.*

Es ist ratsam, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

V. Kräfte, die an einem Körper angreifen.

20. Aufgabe. *Drei Kräfte, deren Richtungen in einer Ebene liegen, wirken auf einen Körper. Unter welchen Bedingungen ist er im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *38 Nr. 1.*

Geräte. Wandbrett.
2 Rollen (vgl. S. 53).
Angelschnur.
Scheibengewichte von 0,5 kg*.
Ringgewichte von 1, 1,2 kg*.
Unregelmäßig gestaltete leichte Scheibe aus Pappe oder Holz (~ 18 cm × 13 cm), nahe beim Rande drei Löcher in ungleichen Abständen.
Vollständige Zeichenausrüstung.
Kleine Spiegelstreifen.

Anleitung. a) Befestige wie in Aufgabe 8 (S. 56) am Wandbrett zwei Rollen (Fig. 63). Fädele durch die Löcher in der Scheibe die Schnüre, binde ihre Enden fest, führe die beiden Seitenschnüre über die Rollen und belaste sie mit $F_2 = 1$ [kg*] und $F_3 = 1{,}5$ [kg*] und die Mittelschnur mit $F_1 = 2$ [kg*].

b) Hefte hinter den Schnüren einen Bogen Papier auf das Wandbrett, ziehe nochmals schwach an den Fäden, markiere wie in Aufg. 8 mit einem Spiegel die Richtung jeder Kraft und schreibe an jede Wirkungsgerade die Größe der Kraft.

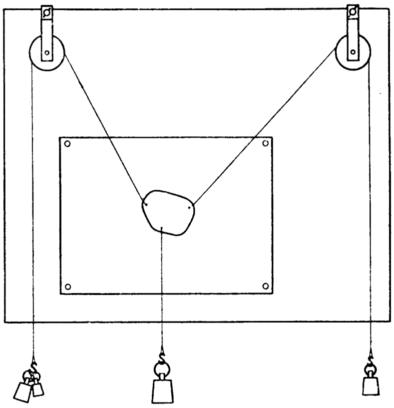

Fig. 63.

c) Nimm das Papier vom Wandbrett ab und zeichne die Wirkungsgeraden der drei Kräfte. Schneiden sie sich in einem Punkt? Entwirf mit dem Kräftemaßstab 1 kg $\sim$ 5 cm das Lagebild.

d) Zeichne das zugehörige Krafteck, und zwar zunächst den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_1$, ziehe durch dessen Endpunkte Geraden parallel zu $\mathfrak{F}_2$ und $\mathfrak{F}_3$, miß die Längen von $\mathfrak{F}_2$ und $\mathfrak{F}_3$ und berechne daraus die Größen der Kräfte F_2 und F_3. Stimmen die so erhaltenen Werte mit den Größen der Gewichte überein?

e) Wiederhole diese Versuche mit andern Belastungen der Schnüre.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . . Scheibe Nr. . . .

F_1 kg*	F_2 kg*			F_3 kg*		
	Graph. bestimmt	Gewicht	Unterschied	Graph. bestimmt	Gewicht	Unterschied

g) Schneiden sich im allgemeinen drei Kräfte, die in einer Ebene liegen und an verschiedenen Stellen eines festen Körpers angreifen, in einem Punkt? Ist das zugehörige Krafteck geschlossen? Wie lauten die Bedingungen für das Gleichgewicht?

Bemerkungen. Anstatt der beiden obern Gewichte oder aller Gewichte kann man Federwagen benutzen. Setzt man eine Holzscheibe auf drei Lagerkugeln, die auf dem Tisch liegen, und verwendet man Federwagen oder Kautschukschnüre, so kann man die Versuche auch ohne Wandbrett durchführen.

21. Aufgabe. *Hänge an zwei Federwagen einen Holzstab wagerecht auf, verbinde seine Enden durch eine Schnur und belaste diese an zwei Stellen. Wie groß sind die Zugkräfte in den einzelnen Schnurteilen und in den Aufhängungen?*

(5 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *42 Nr. 3.*

Geräte. Ein leichter fester Holzstab, ~ 80 cm lang, mit Ösen an den Enden oben und unten.
Schraubenhaken.
Angelschnur.
2 Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*.
3 Federwagen bis 5 kg*, geteilt in 0,1 kg*.
Ringgewichte von 1 und 2 kg*.
Spiegelstreifen.
Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Schraube am obern Rande des Wandbrettes zwei lange Haken in dem Abstand ein, der gleich der Entfernung der Ösen auf dem Stab ist, hänge mit Schnurschleifen die Ringe der beiden Federwagen (bis 4 kg*) daran und an deren Haken den Stab. Stelle aus Schnüren, drei Federwagen (bis 5 kg*) und den beiden Gewichtstücken die Anordnung her, die in Fig. 64 abgebildet ist. Stab, Wagen, Schnüre und Gewichte dürfen das Brett nicht berühren.

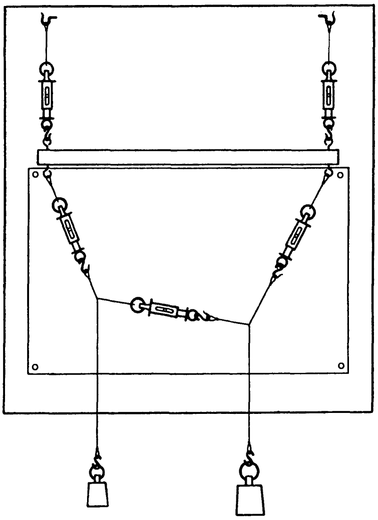

Fig. 64.

b) Hefte hinter den Schnüren einen Bogen Papier auf das Wandbrett und markiere darauf mit dem Spiegel die Richtungen der Schnüre und des Stabes. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen an den Wagen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne wie in Fig. 65 a das Lagebild im Längenmaßstab 1 cm ~ 1 mm und im Kräftemaßstab 1 kg* ~ 2 cm.

c) An jedem der beiden Knoten A_1 und A_2 greifen drei Kräfte an: das Gewicht F und die Zugkräfte S zu beiden Seiten. Da man Größe und Pfeilrichtung des Gewichtes kennt, so kann man mit den zugehörigen Kräftedreiecken die Zugkräfte in den Schnüren finden. Zeichne das Krafteck für den Knoten A_1 (Fig. 65 *b*) und für den Knoten A_2 (Fig. 65 *c*). In Fig. 65 *b* stellen $\mathfrak{S}_1$ und $\mathfrak{S}_2$ die Zugkräfte in den Schnüren s_1 und s_2 und in Fig. 65 *c* die Pfeile $\mathfrak{S}_2$ und $\mathfrak{S}_3$ die Zugkräfte in den Schnüren s_2 und s_3 dar.

d) Miß die Längen dieser Kraftpfeile, berechne mit dem benutzten Kräftemaßstab die Zugkräfte und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen der Federwagen. Ergibt sich für die Zugkraft S_2, die in beiden Knoten angreift, der gleiche Kraftpfeil? Vereinige die Kraftecke für die Knoten A_1 und A_2 zu einer einzigen Zeichnung (Fig 65 *f*). Eine solche Darstellung erspart das doppelte Zeichnen des Kraftpfeils $\mathfrak{S}_2$ und ist deshalb den beiden getrennten

Figuren vorzuziehen. Da F_1 und F_2 bekannt sind, kann man sofort den Kraftpfeil $\mathfrak{S}_2$ zeichnen.

Das Lagebild (Fig. 65a) nennt man ein *Seileck* und die Strecke s_4 seine *Schlußseite.* Die Fig. 65f ist der *Kräfteplan, O* sein *Pol,* und die Strecken $\mathfrak{S}_1$, $\mathfrak{S}_2$ und $\mathfrak{S}_3$ sind *Polstrahlen.* Die Strecken B_4B_1 und B_1B_2 bilden das Krafteck.

e) Auf jeden der Knoten A_3 und A_4 wirken die nach oben gerichtete Zugkraft der tragenden Federwage, die Zugkraft des Endseils und die Druckkraft längs dem Stabe. Die Richtungen aller Kräfte und die Größe der Zugkraft im Endseil sind bekannt. Zeichne für jeden der beiden Knoten das Krafteck, entnimm dabei die Zugkräfte in den Schnüren s_3 und s_1 den Zeichnungen Fig. 65*b* und *c*. In Fig.

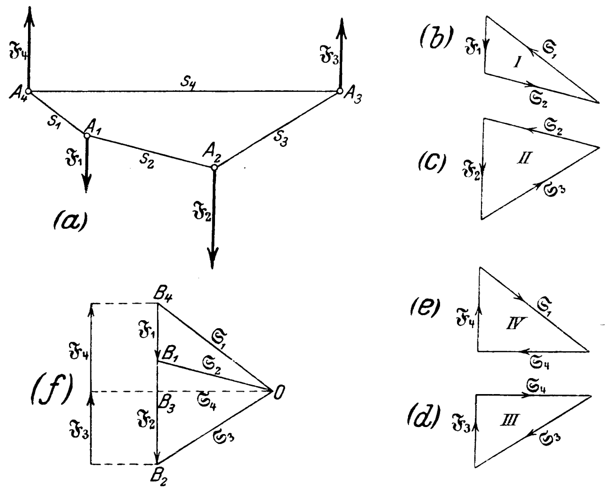

Fig. 65.

65*d* stellt $\mathfrak{S}_3$ die Zugkraft in der Schnur dar; $\mathfrak{S}_4$ und $\mathfrak{F}_3$ laufen parallel zu s_4 und $\mathfrak{F}_3$. Ähnlich ist Fig. 65*e* beschaffen. Hat $\mathfrak{S}_4$ in beiden Dreiecken dieselbe Größe? $\mathfrak{F}_3$ und $\mathfrak{F}_4$ stellen die nach oben gerichteten Zugkräfte der Federwagen dar, Miß diese Kraftpfeile, berechne daraus die Größen dieser Kräfte und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen an beiden Wagen. Vergleiche die Summe von F_1 und F_2 mit der Summe von F_3 und F_4.

f) Ziehe durch den Pol *O* (Fig. 65*f*) eine Gerade parallel zu s_4. Vergleiche die Dreiecke Fig. 65*d* und OB_2B_3, ferner Fig. 65*e* und OB_3B_4 miteinander. War es nicht überflüssig, die Dreiecke Fig. 65*d* und e zu zeichnen? Welche Linie im Kräfteplan zu ziehen ist ausreichend? B_2B_3 stellt die Zugkraft der einen Wage am Knoten A_3 und B_3B_4 die Zugkraft der andern Wage am Knoten A_4 dar, d. h. zieht man durch den Pol des Kräfteplans die Parallele zur Schlußlinie des Seilecks, so zerlegt diese Gerade das Krafteck in zwei Teile, die die Zugkräfte darstellen, die an den Stabenden nach oben wirken.

g) Mit dem Kräfteplan kann man also bestimmen: 1. die Größe der Zugkräfte in allen Seilen, wenn man die Größen der Gewichte und die Richtungen der beiden Endseile kennt, 2. die Richtungen aller Seile, wenn die Richtungen von zweien gegeben sind, und 3. die Größen der Zugkräfte, die in den Aufhängestellen lotrecht nach oben wirken.

h) Die vier äußern Kräfte $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$ und $\mathfrak{F}_4$ halten sich das Gleichgewicht und bilden daher ein geschlossenes Krafteck. Da die Kräfte parallel gerichtet sind, liegt das Krafteck auf einer Geraden. In Fig. 65 *f* besteht es aus den vier Pfeilen B_4B_1, B_1B_2, B_2B_3 und B_3B_4. Die Gewichte F_1 und F_2 kg* dürfen an jedem Punkt ihrer Wirkungslinie angreifen, also auch ohne weiters am Stabe hängen.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Stab Nr. . . . Länge des Stabes = . . . cm.
In s_1 Federwage Nr. . . . In s_2 Federwage Nr. . . .
In s_3 Federwage Nr. . . .
Bei A_3 Federwage Nr. . . . Bei A_4 Federwage Nr. . . .
F_1 = . . . [kg*]. F_2 = . . . [kg*].
Kräftemaßstab . . . Längenmaßstab . . .

Zugkräfte	An der Federwage		In der Zeichnung	
	Zeiger-ablesung	Verbesserte Ablesung	Länge des Kraft-pfeils in cm	Berechnete Kraft-größe in kg*
S_1				
S_2				
S_3				
F_3				
F_4				

Bemerkungen. Bei dem Versuch werden die Gewichte des Stabes und der Federwagen nicht berücksichtigt; man muß mithin große Gewichte an die Seilknoten hängen.

Anstatt der beiden obern Federwagen kann man Rollen, Schnüre und Gewichte anwenden. Die auftretenden Kräfte lassen sich auch mit Kautschukfäden messen, wenn man nur kleine Gewichte an die Seilknoten hängt und einen leichten Stab verwendet.

Zwar führen fünf Schüler den Versuch gemeinsam aus, doch soll jeder einzelne die Ablesungen machen und die Zeichnungen anfertigen.

Vgl. Föppl, *Techn. Mech.*[1] *2, 66.*

22. Aufgabe. *Wie groß sind die Auflagerdrucke eines wagerechten Stabes, der zwischen den Auflagern mit Gewichten belastet ist?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Holzstab (150 cm × 5 cm × 2,5 cm) mit größeren Ösen an den oberen Enden und in den Stirnflächen. Zwingen mit starken Haken. Universalrolle. 2 Haken.

Geräte. 2 runde Federwagen bis 20 kg*, geteilt in 0,05 kg*.
Starker Bindfaden.
Wasserwage.
Ringgewichte von 5 und 10 kg*.
Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Befestige die Universalrolle am Tischrand, lege eine Schnur darüber, binde das eine Ende an einen festen Gegenstand, etwa an ein recht schweres Gewichtstück (20 kg*), und das andere Ende so an den Ring der einen Federwage, daß ein ~ 15 cm langes Schnurstück zwischen Rolle und Ring liegt. Befestige die Hakenzwinge am Tischrand und hänge den Ring der andern Federwage mit einer Schnur so daran auf, daß die Ringe beider Wagen in gleicher Höhe liegen und die Schnüre ebenso weit wie die Ösen des Stabes voneinander abstehen. Bestimme mit den Federwagen die

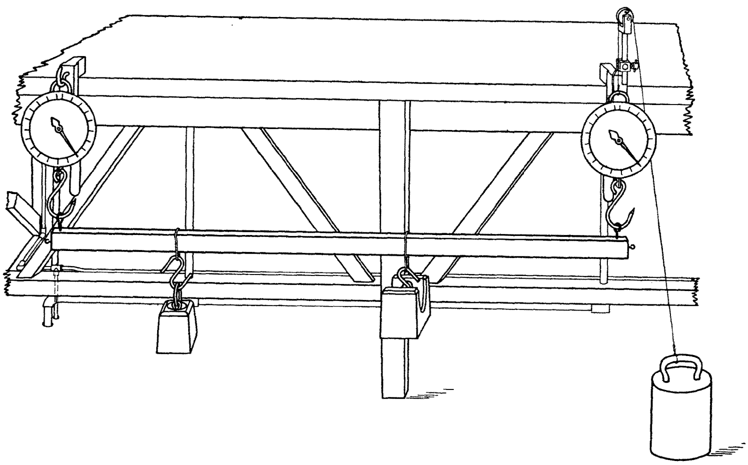

Fig. 66.

Gewichte jedes einzelnen Gewichtstückes und nimm aus den zusammengehörigen Ergebnissen die Mittel (F_1 und F_2 kg*). Hänge die Ösen des Stabes an die Haken der Wagen. Hebe oder senke mit der Schnur, die über die Rolle führt, das eine Ende des Stabes, bis er genau wagerecht steht, und befestige die Rollenschnur sicher.

b) Binde um den Stab Schleifen und befestige mit Haken Ringgewichte von 5 und 10 kg* daran. Hebe oder senke die eine Wage so, daß der Stab wagerecht steht (Fig. 66). Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Vergleiche die Gesamtbelastung mit der Summe der Zugkräfte an den Wagen. Miß die Abstände der Angriffstellen der Lasten von den Ösen, in denen die Wagenhaken sitzen, und die Entfernung dieser Ösen.

c) Zeichne mit dem Längenmaßstab 1 : 10 und dem Kräftemaßstab 1 cm $\sim$ 1 kg* das Lagebild (Fig. 67 a) und trage die Wirkungslinien der Zugkräfte an den Enden des Stabes und der angehängten Gewichte ein. A_1 und A_2 sind die Angriffstellen der Lasten F_1 und F_2 kg* und A_3 und A_4 die Angriffstellen der Auflagerdrucke F_3 und F_4 kg*, die hier durch die Zugkräfte der Federwagen ersetzt werden.

d) Zeichne das Krafteck der Lasten F_1 und F_2 kg* *(Lastlinie).* In Fig. 67 *b* stellt B_4B_1 den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_1$ und B_1B_2 den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_2$ dar. Wähle einen beliebigen Pol O und ziehe die Polstrahlen $\mathfrak{S}_1$, $\mathfrak{S}_2$

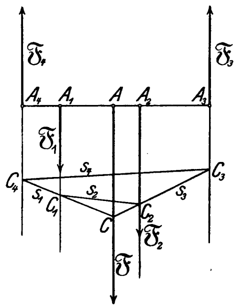

Fig. 67 a.

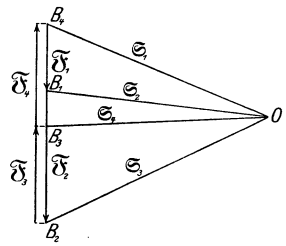

Fig. 67 b.

und $\mathfrak{S}_3$. Nimm auf der Wirkungslinie von F_4 einen beliebigen Punkt C_4 an und zeichne in das Lagebild das Seileck so ein, daß s_1, s_2 und s_3 zu $\mathfrak{S}_1$, $\mathfrak{S}_2$ und $\mathfrak{S}_3$ parallel laufen.

e) Zeichne die Schlußseite s_4 des Seilecks und ziehe durch O den Strahl $\mathfrak{S}_4$ parallel dazu. Es stellt dann B_2B_3 den aufwärts wirkenden Auflagerdruck $\mathfrak{F}_3$ und B_3B_4 den Auflagerdruck $\mathfrak{F}_4$ dar. Vergleiche die Werte, die auf diese Weise graphisch ermittelt worden sind, mit den Ablesungen an den Federwagen.

f) Wiederhole die graphische Bestimmung für verschiedene Lagen des Poles O.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linke Federwage Nr. . . . Rechte Federwage Nr. . . .
Holzstab Nr. . . . $F_1 = \ldots$ [kg*]. $F_2 = \ldots$ [kg*].
$A_4A_1 = \ldots$ cm. $A_4A_2 = \ldots$ cm. $A_4A_3 = \ldots$ cm.
Kräftemaßstab . . . Längenmaßstab . . .

Auflagerdruck	An der Federwage		In der Zeichnung	
	Zeigerablesung	Verbesserte Ablesung	Länge des Kraftpfeils in cm	Größe der Kraft in kg*
F_3				
F_4				

h) Welche Kräfte greifen im Knoten C_1 an? Jede dieser Kräfte ist gleich der Gesamtkraft der beiden andern. Die Zugkraft im Seil s_1, die in der Richtung von C_1 nach C wirkt, ist die Mittelkraft der Zugkraft im Seil s_2 ($\mathfrak{S}_2$ im Kräfteplan) und der Last $\mathfrak{F}_1$ (B_4B_1 im Kräfteplan). Diese Mittelkraft wird im Kräfteplan durch den Strahl $\mathfrak{S}_1$ dargestellt. Ebenso würde die Kraft, die im Kräfteplan durch $\mathfrak{S}_3$ bestimmt ist, wenn sie am Knoten C_2 von C_2 nach C wirkte, die Gesamtkraft der Zugkraft im Seil s_2 und der Last $\mathfrak{F}_2$ sein. Diese beiden Mittelkräfte schneiden sich im Punkt C. Man kann sie durch eine einzige Kraft ersetzen, deren Wirkungslinie durch C geht. Im Kräfteplan stellt $\mathfrak{S}_1$ die eine und $\mathfrak{S}_3$ die andere Mittelkraft dar, daher bildet B_4B_2 eine Kraft ab, die gleich der Gesamtkraft dieser beiden wäre, wenn sie in der Richtung von B_4 nach B_2 wirkte. Die Lastlinie B_4B_2 stellt aber $\mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2$ dar. Mithin ist C ein Punkt auf der Wirkungslinie von $\mathfrak{F}$, der Gesamtkraft von $\mathfrak{F}_1$ und $\mathfrak{F}_2$. Diese Wirkungslinie ist parallel zu B_4B_2 und daher lotrecht. Mithin ist Größe und Richtung der Gesamtbelastung bestimmt. Ein Seileck und der zugehörige Kräfteplan gestatten also, die Lage der Gesamtkraft aus mehreren Teilkräften zu bestimmen, wenn deren Größen und Wirkungslinien bekannt sind.

i) Wiederhole die Versuche und Zeichnungen für verschiedene Angriffstellen der Lasten.

Bemerkungen. Der kräftige Haken ist in eine Holzzwinge eingeschraubt, die man an den Tischrand klemmt.

Da man bei diesem Versuch das Gewicht des Stabes nicht berücksichtigt, muß man große Belastungen wählen.

Benutzt man einen Holzstab von 60 bis 80 cm Länge und 4 cm $\times$ 2 cm Querschnitt, so genügen zwei Federwagen bis 5 kg*, geteilt in 0,1 kg* und entsprechend schwächere Belastungen.

Bei der Aufgabe wurde angenommen, daß die Auflagerung des Stabes so erfolgt, daß bei senkrecht wirkenden Lasten auch nur senkrechte Auflagerkräfte übertragen werden.

Vgl. Föppl, *Techn. Mech.*[1] *2, 71.*

Die Aufgaben 22 und 23 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

23. Aufgabe. *Wie bestimmt man Größe und Pfeilrichtung der Gesamtkraft von mehreren parallelen Kräften?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *49 Nr. 6.*

Geräte.

Hebel (vgl. S. 93).	Becherglas mit Wasser.
Ringgewichte von 2 und 5 kg*.	Unterlegklötze.
Meterstab.	Vollständige Zeichenausrüstung.
Starker Bindfaden.	Schmieröl.

Anleitung. a) Wäge den Hebel und fasse sein Gewicht als eine Kraft auf, die in seinem Mittelpunkt angreift. Setze den Hebel in sein Lager und öle dieses.

b) Hänge mit einer Bindfadenschleife in 28 cm Abstand von der Drehachse das Gewichtstück 5 kg* an den rechten Hebelarm. Binde ebenso an den andern Hebelarm das Gewicht 2 kg* und schieb es auf die Achse zu oder davon weg, bis der Hebel anscheinend wagerecht steht. Halte das Auge so, daß die obern Kanten des Hebels in eine Gerade zusammenfallen und prüfe, ob sie zu dem Wasserspiegel in einem Becherglas, das hinter dem Hebel aufgestellt ist, parallel liegen. Verschiebe, wenn dies nicht der Fall ist, die Schleife des linken Gewichtes so lange, bis sich der Hebel, nachdem man schwach auf seinen rechten Arm geklopft hat, genau wagerecht einstellt (Fig. 68).

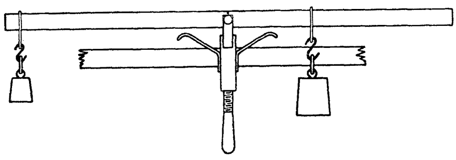

Fig. 68.

c) Miß die Länge des Hebels und die Abstände der Angriffstellen der Gewichte von der Drehachse.

d) Entwirf mit dem Längenmaßstab 1 : 10 und dem Kräftemaßstab 1 cm $\sim$ 1 kg* das Lagebild und trage die Wirkungslinien der Gewichte ein (Fig. 69*a*). Zeichne ferner wie in Aufg. 22 (d) das zugehörige Krafteck und ziehe für einen beliebigen Pol O die Polstrahlen (Fig. 69*b*).

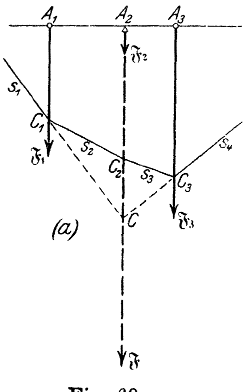

Fig. 69 a.

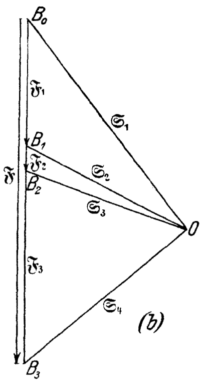

Fig. 69 b.

e) Zeichne in das Lagebild das Seileck ein. Verlängere die Seile s_1 und s_4 bis zum Schnittpunkt C, durch den die lotrechte Wirkungslinie der Gesamtkraft $\mathfrak{F}$ geht. In welchem Punkt schneidet diese Gerade das Hebelbild?

f) Miß die Abstände der Gesamtkraft von den Wirkungslinien der Gewichte und vergleiche sie mit den Abständen, die bei Versuch (c) gemessen worden sind.

g) Welche Strecke des Kraftecks liefert die Größe $\mathfrak{F}$ der Gesamtkraft? Berechne daraus mit dem Kräftemaßstab $\mathfrak{F}$ in kg* und vergleiche das Ergebnis mit dem Gewicht des Hebels und den angehängten Gewichten. Welche Regel läßt sich aufstellen?

h) Wiederhole die Zeichnungen und Messungen (d) bis (g) für einen andern Pol.

i) Wiederhole die Versuche und Zeichnungen mit andern Gewichten und andern Angriffstellen der Gewichte.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . . Gewicht des Hebels . . . kg*.
Länge des Hebels . . . cm.

Linker Arm		Rechter Arm		Gesamtkraft		
Angehängtes Gewicht F_1 kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm	Angehängtes Gewicht F_3 kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm	Größe des Pfeils im Kräfteplan in cm	Berechnete Größe in kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm

Bemerkungen. Der Hebel ist ein Stab aus hartem Holz (150 cm lang, 4 cm hoch und 2 cm breit). In die Mitte des Stabes ist ein Stahlstab von quadratischem Querschnitt (1,3 cm × 1,3 cm) eingesetzt, dessen Stirnflächen schwach konisch ausgebohrt sind. Der Querschnitt des Stabes, in dem die Achse liegt, ist auf den Seiten durch Striche markiert. Auf einer Holzzwinge ist der Lagerbock befestigt (Fig. 70). Durch seine lotrechten Schenkel führen zwei Schrauben, die durch Gegenmuttern gesichert sind. Die gehärteten konischen Spitzen der Stellschrauben greifen in die Grübchen der Achse ein. An den Seiten der Zwinge sind zwei schmale gebogene Eisenstäbe angeschraubt, die der Hebelstange nur mäßigen Spielraum gewähren. WELLS *(52 Nr. 1)* setzt das Lager auf einen Holzträger, den er an einem Wandbrett festschraubt. Man kann auch eine Holzleiste von 60 bis 80 cm Länge und 4 cm × 2 cm Querschnitt verwenden, durch deren Mitte ein

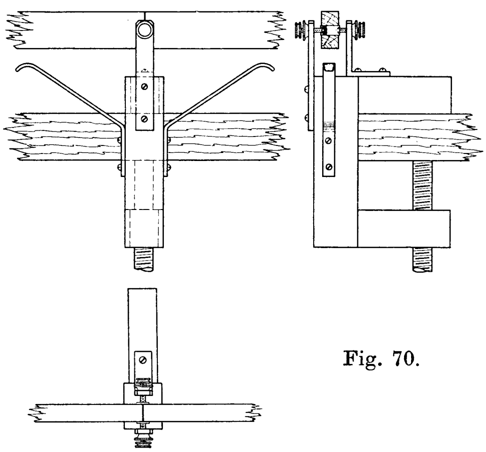

Fig. 70.

Loch gebohrt ist. Durch dieses zieht man einen Faden und bindet den Stab mit einer Schleife an den Haken einer Federwage, die man an einem Gestell oder am Wandbrett befestigt. Man liest die Federwage ab, belastet den Stab so stark, daß er nicht wahrnehmbar verbogen wird und die Gesamtkraft in die obere Hälfte des Meßbereiches der Federwage fällt, und ordnet die Gewichte so an, daß sich der Stab genau wagerecht stellt. Mit einem Hebel, dessen Achse fest liegt, arbeitet es sich jedoch viel bequemer.

Die Aufgaben 22 und 23 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

24. Aufgabe. *Eine Kraft greift einen Körper, der um eine feste Achse drehbar ist, in einer Ebene an, die auf der Achse senkrecht steht. Wovon hängt die Wirkung der Kraft ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Hebel (vgl. S. 93).
Ringgewichte von 1 bis 2 kg*.
Meterstab.
Bindfaden.
Becherglas.
Holzklötze.
Papier.
Millimeterpapier.
Vollständige Zeichenausrüstung.
Schmieröl.

Anleitung. a) Setze wie in Aufgabe 23 (a) den Stab in seine Lager ein, schmiere diese und prüfe, ob der Hebel genau wagerecht steht. Belaste ihn, wenn nötig, mit einem kleinen Gewicht oder Reiter aus Draht oder Bleiblatt.

b) Befestige mit einer Schleife am linken Arm in ~ 30 cm Abstand von der Achse ein 2 kg*-Stück. Was geschieht?

c) Hänge mit einer Schleife ein 1 kg*-Stück an den andern Arm und verschiebe es auf die Achse zu oder davon weg, bis der Stab wieder genau wagerecht steht. Miß den Abstand der Schleife von der Achse. Vergleiche die beiden Gewichte und ihre Entfernungen von der Achse miteinander.

d) Ersetze das 1 kg*-Stück durch ein 2 kg*-Stück. Wie dreht sich der Hebel? In welchem Abstand von der Achse stellt die neue Belastung das Gleichgewicht her?

e) Ersetze das 2 kg*-Stück am rechten Arm durch das Gewicht 4 kg*. Was geschieht? In welchem Abstand bewirkt die neue Belastung das Gleichgewicht?

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . .

Linker Arm				Rechter Arm				Algebraische Summe der Drehmomente $P_1 + P_2$	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$
Kraft F_1 kg*	Kraftarm l_1 cm	Drehmoment P_1		Kraft F_2 kg*	Kraftarm l_2 cm	Drehmoment P_2				
		Sinn	$F_1 l_1$ kg* cm			Sinn	$F_2 l_2$ kg* cm			
						Summe		. . . . .		

g) Wovon hängt die Drehwirkung einer Kraft ab? *Drehachse. Kraftarm. Drehmoment. Einheit der Drehmomente. Drehsinn. Positives- und negatives Drehmoment.*

h) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei

$$x = l_2 \text{ und } y = P_2.$$

i) Unter welchen Bedingungen ist ein Körper, der sich um eine feste Achse drehen kann, und auf den zwei Kräfte wirken, im Gleichgewicht? Welche Winkel bilden bei diesen Versuchen die Wirkungslinien der Kräfte mit den Kraftarmen?

Bemerkungen. Man kann auch einen Stab, der an einem Ende O (Fig. 71) durchbohrt ist, mit einem runden Vorstecher oder einem Nagelbohrer am Wandbrett drehbar befestigen. Man legt in einem unveränderlichen Abstand OA_1 von der Achse um den Stab eine Bindfadenschleife, verbindet diese mit dem Haken einer Federwage und befestigt deren Ring am Wandbrett. Mit einer Schleife hängt man an den Stab ein Gewicht oder eine Wageschale mit Gewichten. Man ordnet die Federwage und das Gewicht so an, daß die Wage lotrecht nach oben zieht und der Stab sich genau wagerecht stellt. Bei geringer Belastung ist das Stabgewicht zu berücksichtigen. Das wird vermieden, wenn man mit Duncan *(42)* die lotrechte Stellung des Stabes als Gleichgewichtslage verwendet und in wagerechter Richtung entweder mit Federwagen oder besser mit

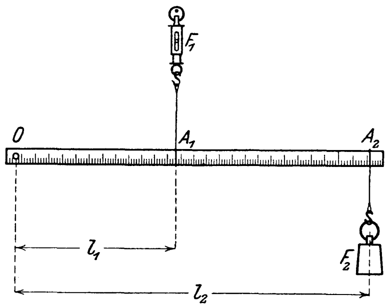

Fig. 71.

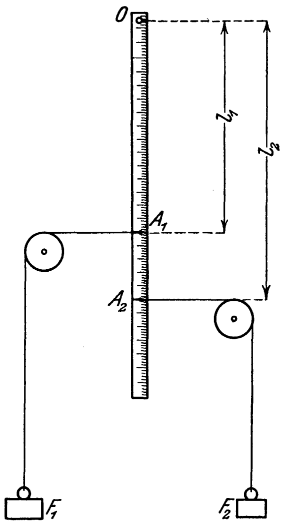

Fig. 72.

Rollen, Schnüren und Gewichten wagerechte Kräfte auf den Stab einwirken läßt (Fig. 72). Hier bereitet die Verschiebung der Rollen und der Angriffstellen der Schnüre (Hülsen) einige Unbequemlichkeiten. In beiden Fällen wird man durch Einschlagen von Stiften die Bewegungsfreiheit des Stabes in enge Grenzen einschließen, damit man die scharfe Einstellung bequem ausführen kann. Außerdem muß man sorgfältig darauf achten, daß die Zugrichtungen und die Längsachse des Stabes in einer Ebene liegen.

25. Aufgabe. *Auf einen Körper, der sich um eine Achse drehen kann, wirken in einer Ebene, die senkrecht zur Achse steht, mehrere Kräfte. Unter welchen Bedingungen halten sie sich das Gleichgewicht?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Watson, *Elem. Pract. Phys.* *75 Nr. 59.*

Geräte. 2 Federwagen bis 4 kg*.
Meterstab.
Glasperle oder kleiner Metallring.
Spiegelstreifen.
Angelschnur.
Runder Vorstecher oder Nagel.
Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. **a)** Hefte auf das Reißbrett einen Zeichenbogen, ziehe in ∼ 2,5 cm Abstand von der hintern Kante eine Gerade, trage vom Punkt O (Fig. 73), der etwa in der Mitte des Striches liegt, nach beiden Seiten 30 cm ab und errichte in diesen Punkten (A_1 und A_2) Senkrechte auf $A_1 A_2$. Bohre auf der Längsachse eines Meterstabes bei den Teilstrichen 20, 50 und 80 cm Löcher, binde an den beiden äußern Durchbohrungen die Enden von Schnüren fest, schiebe durch das mittlere Loch einen runden Vorstecher als Achse und streife dann über dessen Spitze noch eine Perle oder einen Me-

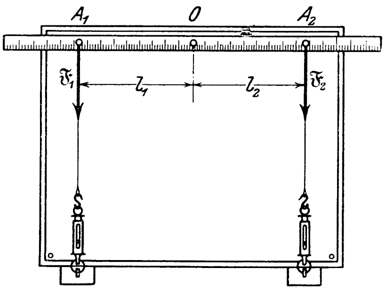

Fig. 73.

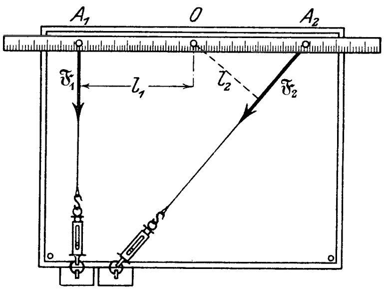

Fig. 74.

tallring. Befestige diese Achse genau im Punkt O senkrecht zum Reißbrett und an den Enden der Schnüre die Haken der Federwagen, halte den Maßstab genau in der Richtung $A_1 A_2$ fest und ziehe an den Ringen der Wagen, bis die Zeiger in der obern Hälfte der Teilungen stehen und die Schnüre und Schlitze der Wagen genau über den Loten auf $A_1 A_2$ liegen. Befestige die Ringe wie in Aufgabe 8, S. 60. Welche Kräfte wirken auf den Meterstab? In welchem Sinn sucht jede Kraft ihn zu drehen? Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Berechne die Drehmomente $P_1 = F_1 l_1$ und $P_2 = F_2 l_2$ der beiden Kräfte in bezug auf die Achse O und vergleiche ihre Sinne und Größen.

b) Halte den Maßstab fest, mache den Ring der rechten Federwage frei und befestige ihn so in einer andern Lage (Fig. 74), daß die Längsachse des Stabes wieder über $A_1 A_2$ steht, und die Schnur genau in der Richtung des Schlitzes liegt und mit dem Stab einen spitzen Winkel bildet. Nimm mit dem Spiegelstreifen die Schnurrichtung in einem Punkt auf, der möglichst weit von A_2 entfernt ist. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab, verbessere die Ablesungen und schreibe die Ergebnisse F_1 und F_2kg* neben die Richtungsmarken.

c) Wiederhole den Versuch (b) noch zweimal, ändere dabei sowohl die Wirkungslinie als auch die Angriffstelle der Kraft F_2.

d) Fälle von der Drehachse O das Lot auf die Wirkungslinie von F_2. Miß seine Länge l_2, berechne die Drehmomente $P_1 = F_1 l_1$ und $P_2 = F_2 l_2$ von F_1 und F_2 in Bezug auf O und vergleiche ihre Sinne und Größen.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Meterstab Nr. . . . Links Federwage Nr. . . . Rechts Federwage Nr. . . .

Links					Rechts					Algebraische Summe der Drehmomente
Kraft		Kraftarm	Drehmoment P_1		Kraft		Kraftarm	Drehmoment P_2		
Zeigerablesung	Verbesserte Ablesung F_1 kg*	l_1 cm	Sinn	$F_1 l_1$ kg* cm	Zeigerablesung	Verbesserte Ablesung F_2 kg*	l_2 cm	Sinn	$F_2 l_2$ kg* cm	$P_1 + P_2$
									Summe	. . . . . .

f) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte am Stabe aufstellen?

2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Ames-Bliss *118 Nr. 19.*

Geräte. Meterstab.
Angelschnur.
Papier.
2 Federwagen bis 4 kg*.
Runder Vorstecher oder Nagelbohrer.
Spiegelstreifen.
Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. g) Bohre auf der Längsachse eines Meterstabes in der Mitte und nahe den Enden Löcher durch den Stab. Ziehe durch die Endlöcher A_1 und A_2 Fäden und binde Schleifen. Stecke durch das Loch O in der Mitte einen Vorstecher und treibe diesen in das Wandbrett (Fig. 75). Binde an die Schleifen A_1 und A_2 Schnüre und an deren Enden die Ringe zweier Federwagen. Knüpfe an die Haken der Wagen Fäden, verbinde sie mit einem kleinen Ring und befestige diesen mit einem Nagel N so am Wandbrett, daß der

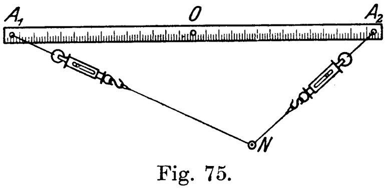

Fig. 75.

Stab und die Schnüre eine geeignete Stellung haben, die Schlitze der Wagen so genau wie möglich in den Richtungen A_1N und A_2N liegen und die Zeiger der Wagen über den obern Hälften der Teilungen stehen.

h) Markiere mit dem Spiegelstreifen die Schnurrichtungen an Stellen, die möglichst weit von N entfernt sind. Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab, verbessere die Ablesungen und schreibe die Ergebnisse F_1 und F_2 kg* an die Schnurmarken.

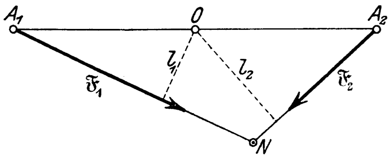

Fig. 76.

i) Wickele das Ende der Schnur A_2N mehrmals um den Nagel, ändere so die Kräfte und Kraftarme und miß wiederum die Kräfte und ihre Richtungen. Wiederhole den Versuch etwa dreimal.

k) Nimm den Papierbogen ab und ziehe die Wirkungslinien von $\mathfrak{F}_1$ und $\mathfrak{F}_2$ (Fig. 76). Fälle von O aus Lote auf die Wirkungslinien und miß ihre Längen l_1 und l_2 cm. Bestimme Sinn und Größe jedes Drehmoments in bezug auf die Achse O.

l) Schreibe die Ergebnisse wie in (e) auf. Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte am Stab aufstellen?

3. Verfahren.

(4 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wells *54 Nr. 2.*

Geräte. Eine unregelmäßig gestaltete Scheibe aus Pappe oder Holz (~ 25 cm × 20 cm).
Weiche Seidenschnüre von ~ 1,5 mm Durchmesser.
4 Rollen (vgl. S. 53).
4 Ringgewichte von 1 kg*.
Satz von Scheibengewichten.
Runder Vorstecher oder Nagelbohrer.
Spiegelstreifen.
Vollständige Zeichenausrüstung.

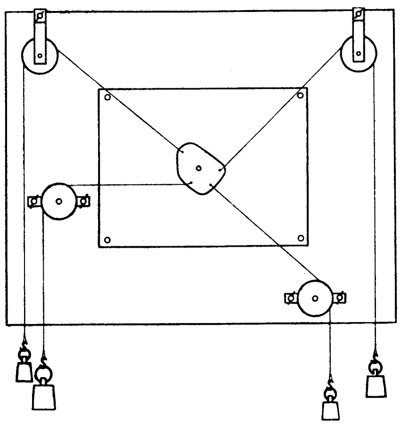

Fig. 77.

Anleitung. m) Hefte auf das Wandbrett einen Bogen Zeichenpapier. Stecke durch die Mitte der Scheibe einen dünnen Vorstecher oder eine Zwecke mit kräftigem langen Stift oder eine Tuchnadel. Drehe die Scheibe um den Stift und mache dadurch das Loch so groß, daß sich die Scheibe ganz frei drehen kann. Befestige die Achse senkrecht auf dem Wandbrett. Bringe an diesem Brett vier Rollen so an, daß ihre Rinnen in einer Ebene liegen. Binde an den durchlochten Randstellen der Scheibe Schnüre an, führe sie über

Rollen und belaste ihre freien Enden mit geeigneten Gewichten, sagen wir 1, 1,5, 1,3 und 1 kg*, so daß die Gleichgewichtlage etwa wie in Fig. 77 aussieht.

n) Markiere mit einem Spiegelstreifen an zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen die Richtungen der vier Schnüre und schreibe deren Belastungen an die Marken.

o) Nimm das Papier ab und ziehe die Wirkungslinien der Kräfte, die an der Scheibe angreifen. Fälle von dem kleinen Loch, das die Lage der Achse angibt, Lote auf die Wirkungslinien.

p) Miß die Längen dieser Lote und berechne für jede Kraft das Drehmoment in bezug auf die Achse und zähle die gleichsinnigen Momente zusammen. Vergleiche die Summe der positiven mit der Summe der negativen Momente.

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Scheibe Nr. . . .

Kraft F kg*	Kraftarm l cm	Drehmoment P		Summe der positiven Momente	Summe der negativen Momente	Algebraische Summe der Drehmomente
		Sinn	Fl			

r) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte aufstellen?

s) Ändere die Belastung und wiederhole die Versuche (m) bis (r).

Bemerkungen. Beim ersten Verfahren kann man anstatt der Federwagen auch Kautschukschnüre verwenden, durch die man an zwei Stellen Nähnadeln gesteckt oder um die man Schleifen mit weißem Garn gebunden hat.

Benutzt man beim zweiten Verfahren kein Wandbrett, so mißt man die Kraftarme mit Winkel und Maßstab. Dann kann man als Achse auch eine

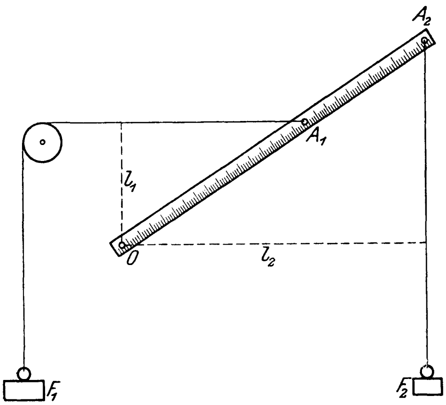

Fig. 78.

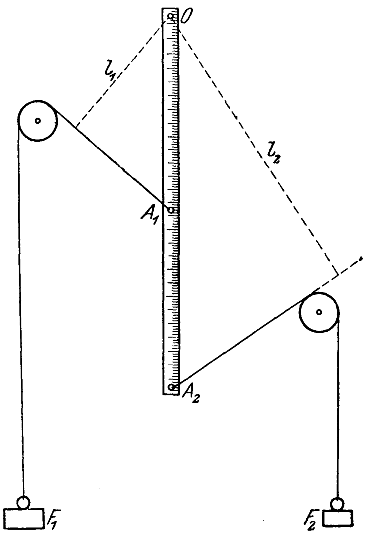

Fig. 79.

Schneide verwenden und diese auf ein geeignetes Lager setzen. Anstatt Löcher in den Stab zu bohren, kann man Ösen einschrauben und die Mittelöse durch einen Faden mit einem festen Haken verbinden. An Stelle eines Nagels läßt sich auch ein schweres Gewichtstück verwenden, das man auf dem Boden oder Tisch verschiebt, um Größe und Richtung der Kräfte zu ändern. Man kann auch in der Schnur A_1N die Federwage weglassen und an A_1 ein Gewicht mit einem Faden aufhängen, ferner bei Verwendung kleiner Gewichte die Federwage und die Schnur A_2N durch einen Kautschukfaden ersetzen. Auch läßt sich der Zug in der Schnur A_2N mit Rolle und Gewicht herstellen.

Benutzt man das eine Ende des Stabes als Drehpunkt (Fig. 78, S. 99), so muß man große Kräfte anwenden, wenn man das Gewicht des Stabes vernachlässigen will. Bei der Anordnung, die in Fig. 79, S. 99 abgebildet ist, braucht man das Gewicht des Stabes nicht zu berücksichtigen, doch ist auch hier die Verwendung großer Gewichte ratsam.

Beim dritten Verfahren wird das Gewicht der Scheibe nicht berücksichtigt; man wähle also eine leichte Scheibe und schwere Gewichte.

Besondere Apparate für Versuche über das Drehmoment findet man bei Duff *125 Nr. 20.* Hortvet *82.* Millikan *29.* Nichols *1, 42.* Noack, *Leitfaden 34 Nr. 25, 26 u. 38 Nr. 34, Aufgaben 18 Nr. 19.*

Man lasse die verschiedenen Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen anwenden.

26. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen halten sich parallele Kräfte, die in einer Ebene auf einen Körper wirken, das Gleichgewicht?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Ames-Bliss *129 Nr. 21* und Wells *57 Nr. 3.*

Geräte. Wie in Aufgabe 22, dazu Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Verfahre wie bei Aufg. 22 (a) S. 89. Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Die gemessenen Zugkräfte F_3' und F_4' halten dem Stabgewicht das Gleichgewicht.

b) Binde mit einer Schleife, die so groß ist, daß man sie bequem verschieben kann, das 5 kg*-Stück an den Stab in ~ 30 cm Abstand vom einen Ende und befestige ebenso das 10 kg*-Stück in ~ 50 cm Abstand vom andern Ende. Wenn nötig, verschiebe die Schleife und die Hakenzwinge und ändere die Länge der Rollenschnur, bis alle Schnüre lotrecht sind und der Stab genau wagerecht steht.

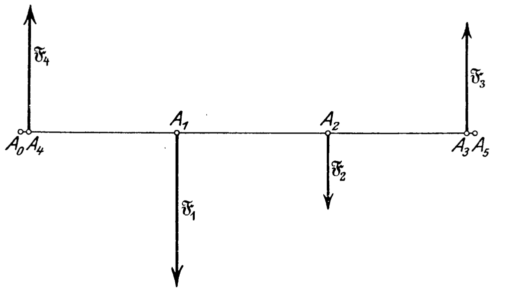

Fig. 80.

c) Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Sind die Ergebnisse F_3'' und F_4'' kg*, so sind die Auflagerdrucke, die die Belastungen F_1 und F_3 kg* hervorrufen, $F_3 = F_3'' - F_3'$ und

$F_4 = F_4'' - F_4'$. Es seien A_1, A_2, A_3 und A_4 die Angriffstellen der Belastungen F_1 und F_2 kg* und der Auflagerdrucke F_3 und F_4 und A_0 das linke Ende des Stabes. Miß die Abstände A_0A_1, A_0A_2, A_0A_3 und A_0A_4 und zeichne das Lagebild der ganzen Anordnung auf Millimeterpapier (Fig. 80).

d) Wiederhole die Versuche viermal, ändere dabei die Stellungen der beiden Gewichte und auch die Stellung der Wage, die an der Hakenzwinge hängt (befestige dabei ihre untere Schnur nicht an der Öse, sondern an einer verschiebbaren Schleife), und bringe bei einem Versuch diese Wage zwischen den Angriffstellen der beiden Gewichte an.

e) Berechne für jeden Versuch die Drehmomente in bezug auf eine Drehachse, die senkrecht zur Längsachse des Stabes wagerecht durch A_0 geht. Die Kraftarme seien $A_0A_1 = l_1$, $A_0A_2 = l_2$, $A_1A_3 = l_3$ und $A_0A_4 = l_4$.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf und rechne dabei die Kräfte, die lotrecht nach oben wirken, als positiv:

Stange Nr. . . . Links Federwage Nr. . . . Rechts Federwage Nr. . . .
Auflagerdrucke des unbelasteten Stabes $F_3' = \ldots$ [kg*], $F_4' = \ldots$ [kg*].
Auflagerdrucke des belasteten Stabes $F_3'' = \ldots$ [kg*], $F_4'' = \ldots$ [kg*].

	Kraft		Kraftarm l cm	Drehmoment P in bezug auf . . .	
	Sinn	Größe		Sinn	Größe
Summe der Kräfte	. . . . .	. . . . .	Summe der Momente	. . . . . .	. . . . . .

g) Berechne für jeden Versuch der Reihe nach die Drehmomente und deren algebraische Summe auch für die Drehachsen A_1, A_2, A_3, A_4 und A_5 (das rechte Ende des Stabes) und außerdem für eine ganz beliebige Drehachse.

h) Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe der Drehmomente für irgend eine Achse, die senkrecht zur Ebene der Kräfte steht? Unter welchen Bedingungen halten sich parallele Kräfte, die in einer Ebene auf einen Körper wirken, das Gleichgewicht?

i) Sieh F_3 und F_4 als Unbekannte an und berechne sie aus den Momentengleichungen für die beiden Stabenden. Vergleiche die Ergebnisse mit den Ablesungen an den Wagen.

k) Hänge den unbelasteten Stab an zwei Federwagen auf, deren Meßbereich etwas größer als das Stabgewicht ist. Verschiebe die eine Wage und ihre Schleife so, daß die Schnüre beider Wagen lotrecht bleiben, lies bei den verschiedenen Stellungen jedesmal die

Wagen ab und berechne daraus die jeweilige Lage des Schwerpunktes, der Angriffstelle des Stabgewichtes. Ändert sie sich mit der Stellung der Wagen?

2. Verfahren.

(3 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 3 Federwagen bis 10 kg*. Schlitten zu den Wagen. Zwingen. | Meterstab. Angelschnur. Millimeterpapier.

Anleitung. l) Binde bei den Teilstrichen 2 und 98 cm des Meterstabes mit Schleifen die Enden zweier Schnüre fest und befestige deren andere Enden an den Haken zweier Federwagen. Klemme die Schlitten der Federwagen mit Zwingen am Tischrand fest. Bringe ebenso am Teilstrich 50 mit einer Schnur eine dritte Federwage an und klemme ihren Schlitten am gegenüberliegenden Tischrand fest. Richte die ganze Anordnung so aus, daß alle Schnüre und Schlitze der Federwagen genau parallel laufen und die beiden Federwagen, die nach derselben Seite ziehen, Zugkräfte von $\sim$ 5 kg* anzeigen (Fig. 81).

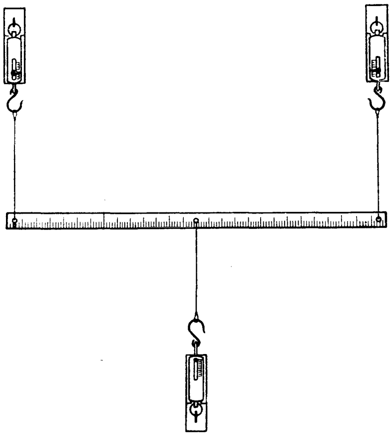

Fig. 81.

m) Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne auf Millimeterpapier den Lageplan.

n) Bewege die mittlere Federwage so, daß ihre Schnur der Reihe nach bei 34, 26, 76 und 84 cm angreift, jedoch stets parallel den andern Schnüren bleibt und wiederhole die Messungen und Zeichnungen von (m).

o) Schreibe die Ergebnisse ähnlich wie in (e) auf.

p) Berechne jedesmal die Drehmomente der drei Kräfte und wähle dabei der Reihe nach Achsen, die durch die Endpunkte, den Mittelpunkt und die drei Angriffstellen der Federwagen gehen.

q) Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Sieh eine der Kräfte als Gegenkraft der beiden andern an. Welche Größe und Pfeilrichtung hat die Gesamtkraft der beiden anderen Kräfte? Vergleiche Größen und Pfeilrichtungen der Teilkräfte und der Gesamtkraft miteinander.

r) Wie groß ist die algebraische Summe der Drehmomente für irgend eine Achse, die zur Kraftebene senkrecht steht? In welchem Verhältnis teilt die Angriffstelle der Gegenkraft die Strecke zwischen den Angriffstellen der Teilkräfte? Unter welchen Bedingungen halten sich daher parallele Kräfte, die in einer Ebene wirken, das Gleichgewicht?

s) Ändere die Richtungen der Federwagen so, daß die Schnüre schräg, aber alle parallel, an dem Meterstab angreifen. Bleiben die bei (r) gefundenen Gleichgewichtsbedingungen bestehen?

3. Verfahren.

(3 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. GAGE *28 Nr. 24.* GILLEY *88 Nr. 14.*

Geräte. HALLS Scheibe.
3 Federwagen bis 4 kg*.
Schlitten für die Wagen.
3 eiserne Stifte zur Scheibe.
Angelschnur.
3 kleine Lagerkugeln von gleicher Größe.
Zwingen.
Meterstab.
Millimeterpapier.

Anleitung. t) Befestige am Haken jeder Wage mit einer Schleife eine Schnur von ~ 60 cm Länge und an deren anderm Ende einen Stift. Lege die Scheibe auf die drei Lagerkugeln.

u) Stecke einen Stift fest in das zweite Loch einer Reihe und einen andern Stift nacheinander in das dritte, vierte usw. Loch derselben Reihe und übe mit den Federwagen genau in der Richtung der Reihe aber in entgegengesetztem Sinn gleiche Zugkräfte aus (Fig. 82). Lies die Wagen ab. Ändert sich die Wirkung einer Kraft, wenn man die Angriffstelle in der Wirkungslinie der Kraft verlegt?

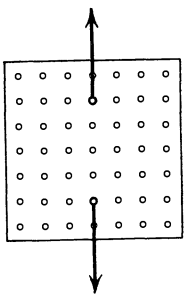

Fig. 82.

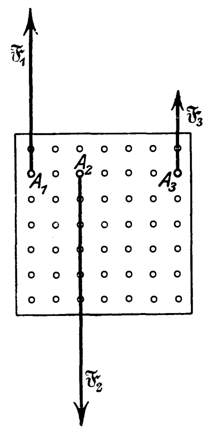

Fig. 83.

v) Stecke die drei Stifte in Löcher derselben Reihe, z. B. in das erste, dritte und siebente Loch der zweiten Reihe. Befestige mit Zwingen die Schlitten der Wagen so, daß die Schnüre den Lochreihen genau parallel laufen, die auf der Stiftreihe senkrecht stehen (Fig. 83). Herrscht Gleichgewicht? Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Miß die Abstände A_1A_2 und A_1A_3 und zeichne auf Millimeterpapier den Lageplan.

w) Wiederhole den Versuch (v) dreimal, ändere dabei die Lagen der Angriffstellen, die jedoch stets auf einer Geraden liegen sollen, und verfahre wie bei (o) bis (r).

x) Stelle wie bei (v) das Gleichgewicht der Kräfte her. Lies die Federwagen ab. Stecke den Stift A_1 in ein andres Loch, das auf der Wirkungslinie von F_1 liegt (Fig. 84). Herrscht Gleichgewicht, wenn die Kräfte, die in A_1, A_2 und A_3 angreifen, die gleiche Stärke wie zuvor haben? Verlege die Angriffstelle A_2 in der Wirkungslinie von F_2. Hat dies einen Einfluß auf die Wirkung, wenn dabei die Stärken der drei Kräfte nicht geändert werden?

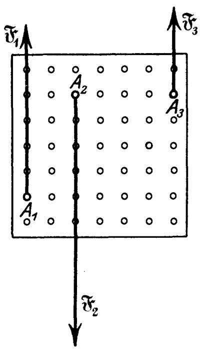

Fig. 84.

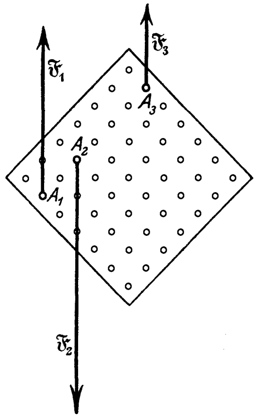

Fig. 85.

y) Stelle wieder wie bei (v) das Gleichgewicht her. Drehe das Brett wie in Fig. 85, verschiebe zugleich die Klemmen am Tischrand und ändere die Längen der Schnüre so, daß die Wirkungslinien der Kräfte einander parallel und die Stärke der Kräfte so groß wie vorher bleiben. Halten sich die Kräfte auch jetzt noch das Gleichgewicht?

Bemerkungen. Zum 1. Verfahren. Will man das Gewicht des Stabes berücksichtigen, so hat man den Stab zu wägen und seinen Schwerpunkt auf 1 mm genau zu bestimmen, d. h. die Stelle des Stabes zu ermitteln, mit der man ihn an einer Aufhängeschnur befestigen oder unter die man die Schneide eines Keiles setzen muß, damit der Stab genau wagerecht liegt. Das Gewicht des Stabes ist $F_3' + F_4'$. Diese Bestimmung ist jedoch ungenau; ein besseres Ergebnis erhält man, wenn man ein Gewicht, das größer als die Hälfte des Meßbereichs der Federwagen ist, an beide Wagen hängt, aus beiden verbesserten Messungen das Mittel nimmt, dann den Stab an die parallelen Wagen hängt, mit dem Gewicht belastet und wiederum die Wagen abliest. Zieht man von der Summe der beiden verbesserten Ablesungen das Gewicht der Belastung ab, so erhält man das Stabgewicht. Es ist das Stabgewicht bei der Summation der Kräfte und das Drehmoment des Stabgewichtes bei der Summation der Momente zu berücksichtigen.

Da bei einer schrägen Stellung des Stabes die Kraftrichtungen in den Federwagen nicht mehr parallel laufen, wurde die eine Wage an eine Rolle gehängt. Weniger einfach ist es, nach dem Vorschlage von De Forrest Ross *(School Science 6, 777; 1906)* den Ring der Wage an den Haken eines Schlittens zu hängen, den man in der Kraftrichtung verschieben und mit einer Schraube feststellen kann.

Anstatt zweier Federwagen kann man auch nur eine oder deren drei anwenden. Bei einer Federwage muß man während der Einstellungen durch untergeschobene Klötze oder festgeklemmte Stäbe die Bewegungsfreiheit des Stabes einschränken. Die Verwicklung des Versuches durch drei Federwagen vergrößert nur die Schwierigkeiten, nicht aber das Verständnis.

Die nach oben gerichteten Zugkräfte kann man zwar genauer, doch nicht bequemer durch Schnüre, Rollen und Gewichte herstellen. Gleicht man das Gewicht des Stabes durch ein Gegengewicht aus, das an einer Schnur hängt, die über eine Rolle geführt wird, so lagere man den Stab auf eine geeignete Unterlage, von der man ihn nur dann emporzieht, wenn man das Gleichgewicht prüft.

Es ist zweckmäßig, bei diesen Versuchen lotrechte Kräfte anzuwenden. Entweder hängt man, wie angegeben, den Körper an Zugfederwagen auf oder lagert ihn auf Druckfederwagen. Benutzt man Druckfederwagen, so stelle man auf jeden Teller zwei Holzklötze mit scharfer wagerechter Schneide, etwa Monochordstege, bestimme das Gewicht und ziehe es von den spätern Ablesungen ab. Doch ist eine genau wagerechte Lagerung des Stabes nicht bequem zu erreichen, noch schwieriger ist dies, wenn man Tafelwagen verwendet und die Auflagerdrucke sehr verschieden sind.

Statt des schweren Stabes kann man auch einen Meterstab, den man auf die hohe Kante stellt, verwenden. Die Gesamtbelastung wird man

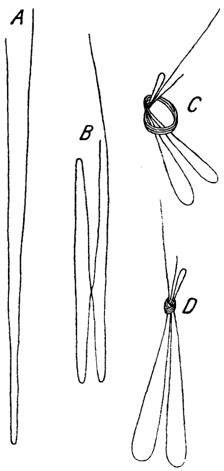

Fig. 86.

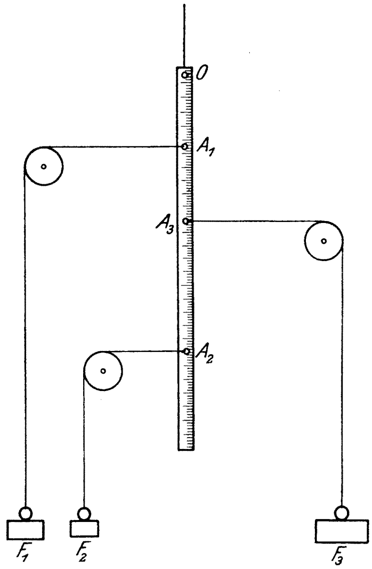

Fig. 87.

dabei nicht geringer als 2 kg* und nicht größer als 10 kg* wählen und demgemäß auch nur Federwagen von entsprechendem Meßbereich verwenden. Benutzt man nur e i n Gewicht zur Belastung, so legt man es zunächst in die Mitte und verschiebt es dann jedesmal um 10 cm erst nach links und dann nach rechts. Die Federwagen läßt man 2 bis 10 cm von den Enden des Maßstabes angreifen.

Benutzt man als Körper, an dem die Kräfte angreifen, eine Hebelstange mit vorstehender Achse, so hängt man diese mit einer Doppelschleife an einer Federwage oder dem Bügel einer andern Wage auf. Eine solche Schleife, die man häufig mit Nutzen verwenden kann, stellt man nach Watson *(Elem. Pract. Phys. 86 Nr. 65)* folgendermaßen her: Man nimmt ein $\sim$ 15 cm langes Fadenstück doppelt (Fig. 86 *A*) und dann noch einmal doppelt (*B*) und bindet mit diesen vier Fadenstücken genau so, als wäre es nur ein Faden, so weit wie möglich vom Ende einen Knoten (*C*).

Z u m 2. V e r f a h r e n. Twiss *(48 Nr. 15)* hängt den Meterstab mit einem Draht, der an Ösen in den Stirnflächen des Stabes befestigt ist, so an einem festen Haken auf, daß der Stab ~ 1 cm über der Tischfläche liegt, hierdurch wird das Gewicht des Stabes ausgeglichen. Er verwendet Federwagen vom Meßbereich 2 kg*.

Duncan *(47)* hängt einen Stab, dessen eines Ende O (Fig. 87) durchbohrt ist, an einem Haken auf, der nahe dem oberen Rande des Wandbrettes eingeschraubt ist, und läßt mit Schnüren, Rollen und Gewichten parallele Zugkräfte wagerecht auf den Stab einwirken. Er schaltet zwar so den Einfluß des Stabgewichtes aus, erschwert aber die genaue Einstellung.

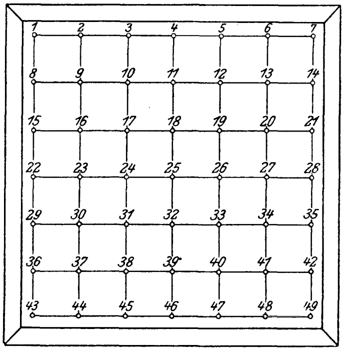

Fig. 88.

Zum 3. Verfahren. Halls Scheibe *(Descript. List 47 Nr. 35 u. 86 Nr. 74)* besteht aus einem Brett, das durch einen Rahmen gegen das Werfen geschützt ist. Darauf ist ein Quadrat (30 cm × 30 cm) gezeichnet, und dieses durch Geraden, die mit Blei gezogen oder mit dem Messer eingeschnitten sind, in kleine Quadrate (5 cm × 5 cm) zerlegt (Fig. 88). In alle Ecken sind Löcher von 0,3 cm Durchmesser gebohrt. Die Löcher sind numeriert. Hat man weiches Holz verwendet, so muß man auf der untern Fläche des Brettes eine dicke, recht ebene Blechscheibe befestigen. In die Löcher sind einige (mindestens vier) eiserne Stifte eingepaßt. Die Schlitten der Wagen sollen so hoch sein, daß die Schnüre nur wenig über dem Brett liegen, wenn dieses auf den Fahrradkugeln ruht. Ein solches Brett hat ein Untersekundaner des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums am 21. Dezember 1893 angefertigt. Es bezeugt den frühzeitigen Einfluß der Harvard University auf die Übungen dieser Schule.

Man lasse die verschiedenen Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen anwenden.

27. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen halten sich zwei Kräftepaare das Gleichgewicht?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Duncan *49.*

Geräte.

4 Rollen.	Zwei 0,5 kg*-Stücke.
Meterstab.	Runder Vorstecher.
Holzstab (50 cm × 1 cm × 0,5 cm), an beiden Enden mit Ösen und in der Mitte durchbohrt.	Spiegelstreifen.
	Papier.
	Vollständige Zeichenausrüstung.
Ringgewichte von 1, 1, 2 kg*.	Millimeterpapier.

Anleitung. a) Befestige das obere Ende des Meterstabes mit einer Schnur an einem Haken, der am obern Rande des Wandbrettes eingeschraubt ist (Fig. 89). Befestige bei A_{11} (10 cm) und A_{12} (50 cm) Schnüre, führe sie wagerecht über Rollen und belaste ihre Enden mit 1 kg*. In welchem Sinne dreht sich der Stab? Versuche eine dritte Kraft anzubringen, die den Stab in lotrechter Stellung erhält. *Kräftepaar. Arm. Moment des Kräftepaares. Drehsinn.* Wie groß ist das Moment des Kräftepaares und welchen Drehsinn hat es?

b) Befestige bei A_{21} (15 cm) und A_{22} (95 cm) Schnüre, führe sie wagerecht über Rollen und belaste ihre Enden mit 0,5 kg*, so daß ein Kräftepaar von entgegengesetztem Drehsinn entsteht. Wie hängt nun der Stab? Bringe ihn aus seiner lotrechten Stellung heraus. Kehrt er wieder dahin zurück? Zeichne den Lageplan auf Millimeterpapier. Wie groß ist das Moment eines Kräftepaares? Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe aller Momente?

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Meterstab Nr. . . .

	Kraft F kg*	Arm l cm	Moment des Kräftepaares: Sinn	Moment des Kräftepaares: Fl kg* cm
Algebraische Summe	. . . . .		. . . . .	. . . .

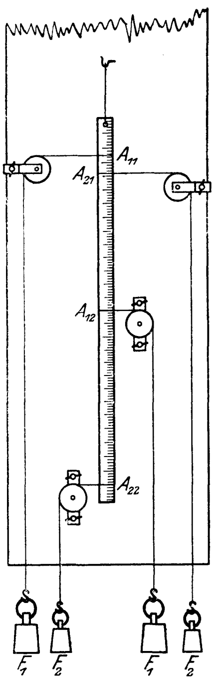

Fig. 89.

d) Unter welchen Bedingungen halten sich die Kräftepaare das Gleichgewicht? Stelle noch bei drei weitern Versuchen das Gleichgewicht her, ändere dabei die Größen der Kräfte und der Arme. Hat es einen Einfluß, wenn man die Angriffstellen verlegt, ohne dabei den Arm des Kräftepaares und die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte zu ändern?

e) Ändere die Schnurrichtungen der Kräfte F_1 und der Kräfte F_2. Die Schnüre jedes Paares müssen parallel bleiben, doch können sie verschiedene Winkel mit dem Stabe bilden. Mache die Momente der Kräftepaare durch Änderung der Schnurbelastungen gleich. Ist es für das Gleichgewicht notwendig, daß die Kräfte senkrecht zum Stabe wirken?

f) Hefte auf das Wandbrett einen Bogen Papier. Befestige mit einem runden Vorstecher oder einem Nagelbohrer, der durch die Mitte des 50 cm langen Stabes gesteckt ist, den Stab drehbar im Punkte O des Papiers (Fig. 90). Prüfe, ob es sich im indifferenten Gleichgewicht befindet.

g) Bringe an den Endösen mit Schnüren, Rollen und Gewichten das nach rechts drehende Kräftepaar $(F_1 \mid - F_1)$ und das nach links drehende Kräftepaar $(F_2 \mid - F_2)$ an. Drehe den Stab aus seiner Gleichgewichtslage heraus. Kehrt er wieder dahin zurück?

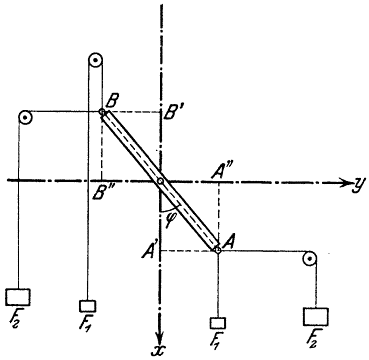

Fig. 90.

h) Markiere die Mitten der Ösen und mit einem Spiegelstreifen die Richtungen der Schnüre, die in A und B befestigt sind, und schreibe die zugehörigen Kräfte an die Marken.

i) Nimm den Papierbogen ab. Zeichne durch O das Achsenkreuz x, y. Entwirf das Lagebild. Wie groß sind die Arme der Kräftepaare $(F_1 \mid - F_1)$ und $(F_2 \mid - F_2)$? Wie groß ist jedes Moment und die algebraische Summe der Momente? Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die Ablenkung φ der Stabachse aus der Lotrichtung? Welche Beziehung besteht zwischen den Kräften F_1 und F_2 und der Ablenkung φ?

k) Wiederhole die Versuche (f) bis (i) mit andern Belastungen der Schnüre.

2. Verfahren.

(4 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. HALL, *Descript. List 47 Nr. 35.*

Geräte. HALLsche Scheibe (vgl. S. 106).
4 Stifte aus Eisen.
4 Federwagen bis 10 kg*, mit 60 cm langen Schnüren an den Haken.
Schlitten zu den Wagen.
Zwingen.
3 kleine Lagerkugeln gleicher Größe.

Anleitung. **l)** Befestige am Haken jeder Wage mit einer Schleife eine Schnur von ∿ 60 cm Länge und an deren anderm Ende einen Stift. Lege die Scheibe auf die Lagerkugeln. Setze die vier Eisenstifte fest so in vier Löcher, daß die Schnüre dicht über der Oberseite des Brettes liegen. Laß die Schnüre in vier Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen, parallel den Lochreihen wirken, doch so, daß nicht zwei Schnüre über derselben Reihe liegen (Fig. 91). Ermittele durch Versetzen der Stifte eine Gleichgewichtstellung. Befestige die Ringe von drei Wagen an drei Tischrändern und den Ring der vierten Wage an einem Stab, der quer über den Tisch

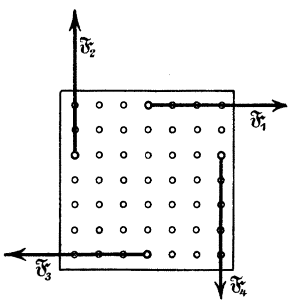

Fig. 91.

gelegt und festgeklemmt ist. Verschiebe, sobald anscheinend eine Gleichgewichtstellung erreicht ist, die Scheibe ein wenig und sieh zu, ob die Kräfte sie wieder in die alte Lage zurückziehen. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Scheibe Nr. . . .

Angriff-stelle (Loch-ziffer)	Nummer der Feder-wage	Kraft F kg*			Arm l cm	Moment	
		Ablesung des Zeigers	Verbesserte Ablesung	Sinn		Sinn	Fl kg* cm
	Algebraische Summe		. . . . .	. . . .		. . . .	. . . .

n) Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe der beiden parallelen Kräfte, die in entgegengesetztem Sinne wirken? Sind die Kräfte entgegengesetzt gleich? *Kräftepaar. Arm. Moment des Kräftepaars. Drehsinn.* Gib von beiden Kräftepaaren Sinn und Größe der Momente an. Kann man, wenn man das eine Kräftepaar entfernt, dem andern Kräftepaar durch eine einzige Kraft das Gleichgewicht halten? Unter welchen Bedingungen halten sich die vier Kräfte das Gleichgewicht?

o) Suche mindestens noch zwei weitere Gleichgewichtstellungen der Scheibe unter der Einwirkung von vier Kräften, die in einer Ebene rechtwinklig zueinander angreifen.

Bemerkungen. Die Versuche (f) bis (k) sind für das Verständnis wichtiger magnetischer und elektrischer Messungen von Wert. Ist die Durchnahme der Kräftepaare ausgeschlossen, so kann man das Tangentengesetz, wie bei Aufgabe 11 S. 65, ableiten.

Man kann beide Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

28. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt einer Scheibe, deren Umfang unregelmäßig gestaltet ist?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Pappe (100 bis 200 cm²). Stecknadeln. | Lot. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. a) Stecke am Rande eine Nadel durch die Pappe. Drehe sie mehrmals in dem Loch herum und erweitere es so ein wenig, damit die Pappe, wenn man die Nadel wagerecht in das Wandbrett steckt, mit sehr geringer Reibung frei schwingt. Welche Kraft wirkt auf die Pappe? Welche andere Kraft hebt diese Wirkung auf? Durch welchen Punkt gehen die Wirkungslinien beider Kräfte?

b) Halte das Lot mit der Hand neben die Nadel und bestimme ungefähr die Stelle, wo es den untern Rand der Pappe schneidet. Ziehe an dieser Stelle dicht nebeneinander mehrere kurze parallele Striche.

c) Hänge das Lot mit einer Endschleife an die Nadel und bestimme nun genau die Stelle, wo der Faden den untern Rand schneidet. Nimm die Pappe ab und zeichne mit einem spitzen harten Bleistift die *Schwerlinie.*

d) Bestimme ebenso für einen zweiten Randpunkt der Pappe, der von dem ersten ziemlich entfernt ist, die Schwerlinie. Sie soll die erste nahezu rechtwinklig schneiden. Welcher Punkt liegt in beiden Fällen unter dem Aufhängepunkt? In welchem Punkt schneiden sich die Schwerlinien? *Schwerpunkt.*

e) Bestimme ebenso mit zwei Schwerlinien die Lage des Schwerpunktes auf der Rückseite der Pappe. Ist der Punkt auf der Vorderseite oder auf der Rückseite der wahre Schwerpunkt? Stich mit der Nadel genau durch den vorderen Schwerpunkt. Geht der Stich durch den hinteren Schwerpunkt? Was für eine Linie ist der Stichkanal? Wo liegt der wahre Schwerpunkt der Scheibe?

f) Bestimme noch eine dritte Schwerlinie. Geht sie auch durch den Schwerpunkt?

g) Setze die Scheibe mit dem Schwerpunkt genau auf den Kopf der lotrecht gehaltenen Nadel. Wie stellt sich die Scheibe ein?

h) Schneide ein Stück von $\sim 10\,\mathrm{cm}^2$ aus der Scheibe heraus und bestimme von neuem die Lage des Schwerpunkts. Welchen Einfluß hat die Wegnahme des Pappeteils auf die Lage des Schwerpunkts?

i) Bestimme auf der einen Seite eines andern Pappstücks den Schwerpunkt. Lege die Pappe flach auf den Tisch mit dem gefundenen Schwerpunkt nach oben, schiebe sie behutsam über den Tischrand, bis sie noch eben auf der Kante in der Schwebe schwingt. Halte die Pappe in dieser Stellung mit der flachen linken Hand fest und ziehe mit einem spitzen harten Blei auf der Unterseite der Pappe einen Strich, benutze dabei den Tischrand als Lineal. Wo liegt der Schwerpunkt, wenn die Pappe über der Tischkante in der Schwebe ist?

k) Drehe die Pappe um $\sim 90^0$ und wiederhole den Versuch (i). Wo liegt der Schwerpunkt der Pappe? Stich mit der Nadel durch den so auf der Unterseite bestimmten Schwerpunkt und prüfe, ob er mit dem auf der Oberseite gefundnen nahezu zusammenfällt.

l) Hänge das erste Pappstück an einem Faden auf und laß es schwingen. Was für eine Bahn beschreibt der Schwerpunkt? Wie liegt, wenn die Pappe im Gleichgewicht ist, der Schwerpunkt zum tiefsten Punkt der Bahn? *Sicheres Gleichgewicht.*

m) Stecke durch den Schwerpunkt eine Nadel, halte sie wagerecht und setze die Pappe in Drehung. Kommt sie stets in derselben Stellung zur Ruhe? (Es ist schwierig, die Nadel genau durch den Schwerpunkt hindurchzustoßen.) *Indifferentes Gleichgewicht.*

n) Stecke die Nadel durch ein Randloch und versuche die Pappe so zu stellen, daß der Schwerpunkt genau über der Nadel liegt. Gib, sobald es gelungen ist, der Pappe einen Stoß. Welche Lage nimmt der Schwerpunkt ein? Hat sich der Schwerpunkt dabei gehoben oder gesenkt? *Unsicheres Gleichgewicht.*

Bemerkungen. Überträgt man mit Kohlepapier den Umfang des Deutschen Reiches, der Provinz oder der Stadt, auf die Pappe und schneidet diese längs der Grenze aus, so läßt sich der Schwerpunkt der so erhaltenen Scheibe bestimmen.

Man kann auch am Rande der Pappe ein Loch einstechen und durch dieses einen Faden ziehen, der einen Knoten K in der Mitte hat (Fig. 92). Das eine Fadenende hängt man mit einer Schleife an die Nadel im Wandbrett und an das andere Ende bindet man eine Bleikugel, eine Schraube oder einen anderen schweren Gegenstand.

Ferner kann man, um die Schwerlinie zu markieren, den Faden einkreiden, ihn oben und unten festhalten, sobald er sich in die Schwerlinie eingestellt hat, und einen Gehilfen die Mitte des Fadens von der Scheibe wegziehen und dagegenschnellen lassen.

Vgl. auch H. Hahn, *Freihandversuche 1, 96 § 54.*

Einen besonderen Apparat zur Bestimmung des Schwerpunkts findet man bei Ames-Bliss *133 Nr. 22 u. 136 Nr. 23.* Duff, *129 Nr. 21.*

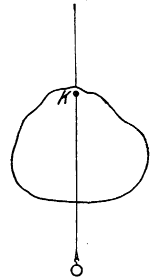

Fig. 92.

Die Aufgaben 28 bis 30 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

29. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt einer dreieckigen Scheibe?*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte.

Pappe.	Lot.
Messer.	Maßstab (30 cm).
Eiserner Winkel.	Spitzer harter Bleistift.
Schere.	Kautschukfäden.

Anleitung. a) Schneide aus einer gleichförmigen Pappe ein ungleichseitiges Dreieck ($\sim$ 100 bis 150 cm^2).

b) Bestimme den Schwerpunkt als Durchschnitt zweier Schwerlinien. Mache dabei die Aufhängelöcher nicht nahe bei den Ecken. Stich mit einer Nadel durch den Schwerpunkt.

c) Wende die Pappe um, verbinde auf der leeren Seite die Ecken A, B und C (Fig. 93) mit dem Schwerpunkt G und verlängere diese Geraden bis zu den Schnittpunkten D, E und F mit den Gegenseiten.

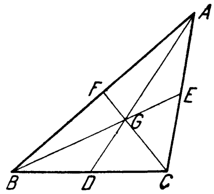

Fig. 93.

d) Miß die Längen der Seiten AB, BC und CA und der Abschnitte AF, BD und CE. Berechne die Verhältnisse AF/AB, BD/BC und CE/CA. In welchem Verhältnis teilen die Schwerlinien, die durch die Ecken gehen, die

Gegenseiten? Wie kann man den Schwerpunkt einer dreieckigen Scheibe durch Zeichnung finden?

e) Miß AD, BE, CF, GD, GE und GF und berechne die Verhältnisse GD/AD, GE/BE und GF/CF. In welchem Verhältnis teilt der Schwerpunkt die Mittellinien des Dreiecks?

f) Zerlegt bei jeder Figur jede Schwerlinie die Fläche in zwei gleiche Teile?

g) Hänge eine dreieckige Scheibe (900 gr*) mit einer Spitze und mit der Mitte der Gegenseite an zwei parallelen Kautschukfäden auf und bestimme mit diesen die Zugkräfte. Miß die Mittellinie des Dreiecks. In welchem Verhältnis teilt die Angriffstelle der Resultierenden der beiden gemessenen Zugkräfte die Mittellinie?

Bemerkung. Die Aufgaben 28 bis 30 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

30. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt eines rechtwinklig umgebogenen Drahtes?*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Worthington *103 Nr. 2—4.*

Geräte.

27 cm Kupferdraht von 1,6 mm Durchmesser.	Pappe.
Papier.	Maßstab.
Garn.	Klebwachs.
Lot.	Holzstäbchen.

Anleitung. **a)** Biege ein Stück Kupferdraht, das 27 cm lang und sorgfältig gerade gerichtet ist, rechtwinklig so um, daß der eine Schenkel genau 9 und der andere 18 cm lang wird.

b) Zeichne auf ein Blatt Papier das Bild des Drahtes in wahrer Größe. Binde an den kurzen Schenkel einen Faden, hänge den Winkel damit an einem Haken im Wandbrett auf und markiere auf dem Papier die Aufhängestellen und die Schwerlinie. Wiederhole diesen Versuch dreimal und markiere den so gefundenen Schwerpunkt.

c) Übertrage durch Durchstechen die Zeichnung des Winkels und die Lage seines Schwerpunkts auf ein andres Stück Papier.

d) Wo liegt der Schwerpunkt des kurzen Schenkels und wo der des langen Schenkels? Auf welcher Strecke liegt der Schwerpunkt des ganzen Drahtes? Wie verhalten sich die Gewichte der Schenkel, die an den Enden dieser Strecke angreifen? In welchem Verhältnis teilt also die Angriffstelle des Gesamtgewichts diese Strecke? Wo liegt mithin der Schwerpunkt des Winkels? Vergleiche das Ergebnis dieser Zeichnung und Rechnung mit dem des Versuchs.

e) Bringe den Drahtwinkel auf der Tischkante oder der Schneide eines Keiles in die Schwebe. Bestätigt dieser Versuch die frühern Ergebnisse?

f) Bestimme die Schwerpunkte von Drähten, die die Gestalt eines **C**, **H** und eines **T** haben.

g) Stelle aus Holzstäbchen ein Vierflach- oder ein Würfelgerüst her. Hänge es nacheinander an zwei Ecken auf. Markiere die Lotrichtungen durch Fäden oder Drähte, befestige diese mit Klebwachs und bestimme so die Lage des Schwerpunkts.

Bemerkung. Die Aufgaben 28 bis 39 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

31. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen stehen die Kräfte, die an einem Hebel angreifen, im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Hebel mit fester Achse in der Mitte (vgl. S. 93).
Hebel mit verschiebbarer Achse (vgl. S. 115).
Ringgewichte von 10, 5 und 2 kg*.
Stabgewichte und Scheibengewichte.
Wageschale von 20 cm Durchmesser. (Vgl. S. 124.)
Bindfaden.
Schere.
Gewichtsatz.
Bunsengestell mit Haken.
Federwage bis 5 kg*.
Meterstab.

Anleitung. a) Prüfe, ob der unbelastete Hebel im Gleichgewicht ist, und stelle, wenn es nicht der Fall ist, mit einem kleinen Gewicht, einem Reiter aus Draht oder Blei, das Gleichgewicht her.

b) Hänge in $\sim$ 30 cm Abstand von der Achse an den linken Arm ein 5 kg*-Stück und an den rechten Arm in $\sim$ 50 cm Abstand von der Achse mit einer Schleife eine Wageschale. Belaste diese Schale, bis Gleichgewicht eintritt.

c) Entwirf das Lagebild der Vorrichtung.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:
Hebel Nr. . . . Gewicht des Hebels . . .
Wageschale Nr. . . . Gewicht der Schale $F_o = \ldots$ [kg*].

Linker Arm				Rechter	
Last F_l kg*	Lastarm l_l cm	Drehmoment der Last P_l		Belastung F' kg*	Kraft $F_k = F_o + F'$
		Sinn	$F_l l_l$ kg* cm		

Arm				
Kraftarm l_k cm	Drehmoment der Kraft P_k		Algebraische Summe der Momente	Übersetzungsverhältnis F_l/F_k
	Sinn	$F_k l_k$ kg* cm		
		Mittel	. . . . . .	

e) Wie groß ist das Drehmoment der Last? In welchem Sinn wirkt es? Wie groß ist das Drehmoment der Kraft? In welchem Sinn wirkt es? Wie groß ist die algebraische Summe der Momente? Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis von Kraft und Last? Wird beim Hebel Kraft gewonnen?

f) Ändere die Belastung der Schale, verschiebe sie so lange, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, und verfahre dann wie bei (c) bis (e).

g) Hänge die Schale an den rechten Arm in verschiedenen Abständen von der Achse, ermittele die Belastungen, die das Gleichgewicht herstellen, und verfahre wie bei (c) bis (e).

h) Löse mit dem Momentensatz folgende Aufgaben und prüfe durch Versuche, ob die Ergebnisse richtig sind:

α) Wie groß ist der Lastarm, wenn $F_l = 5$ [kg*], $l_l = 28$ [cm] und $F_k = 2$ [kg*] sind?

β) Wie groß ist die Kraft, wenn $F_l = 10$ [kg*], $l_l = 24$ [cm] und $l_k = 60$ [cm] sind?

γ) Hänge an den linken Hebelarm in 24 cm Abstand von der Achse ein 5 kg*-Stück und in 48 cm Abstand von der Achse ein 2 kg*-Stück. Welche Kraft muß man in 60 cm Abstand von der Achse auf den rechten Arm einwirken lassen?

i) Hänge ein unbekanntes Gewicht (Bleistück oder dergl.) an das Ende des linken Hebelarmes. Stelle durch ein größeres bekanntes Gewicht das Gleichgewicht her und berechne mit dem Momentensatz das unbekannte Gewicht. Wäge es auch mit der Wage und vergleiche beide Ergebnisse miteinander.

k) Wäge die Hebelstange, deren Achse verschiebbar ist, und stelle durch Schwebenlassen auf einer Schneide oder Aufhängen an einer Schnur die Lage des Schwerpunkts fest. Ist der Stab ebenmäßig gestaltet, so darf man annehmen, daß der Schwerpunkt in der Mitte liegt. Schiebe die Hebelachse an das linke Ende des Stabes und belaste in 50 cm Abstand von der Achse den Hebel mit 5 kg*. Wie groß ist die Kraft, die in 100 cm Abstand von der Achse das Gleichgewicht herstellt? Welche Pfeilrichtung hat diese Kraft? Bringe über der Angriffstelle einen Haken an, hänge daran den Ring einer Federwage, verbinde den Haken der Wage durch Schnur und Schleife mit der Angriffstelle. Achte darauf, daß Schnur und Schlitz lotrecht stehen. Klopfe gegen die Wage, lies die Zeigerstellung ab, verbessere die Ablesung und vergleiche das Ergebnis mit der Kraft, die der Momentensatz lieferte.

l) Schiebe die Hebelachse an das linke Ende des Stabes und hänge an das andre Ende ein 1 kg*-Stück. Berechne mit dem Momentensatz Größe und Pfeilrichtung der Kraft, die in 100 cm Abstand von der Achse am Hebelarm angreifen muß, um das Gleichgewicht herzustellen. Prüfe das Ergebnis mit einer Federwage.

m) Belaste den Hebel, dessen Achse in der Mitte sitzt, so an beiden Armen, daß Gleichgewicht eintritt. Miß die Höhen h_l' und

h_k' m der Angriffstellen (d. h. der Stellen, wo die Aufhängeschleife auf der oberen Seite des Hebels aufliegt) über dem Fußboden. Drehe den Hebel, klemme ihn in der schrägen Stellung fest und miß von neuem die Höhen h_l'' und h_k'' m der Angriffstellen über dem Boden. Die Steighöhe der Last F_l kg* ist $h_l = (h_l'' - h_l')$ [m], also die negative Arbeit der Last $F_l h_l$ kg* m. Die Falltiefe der Kraft ist $h_k = (h_k' - h_k'')$ [m], also die positive Arbeit der Kraft $F_k \cdot h_k$ kg* m. Wird beim Hebel Arbeit gewonnen?

n) Wiederhole den Versuch (m) dreimal mit anderen Lasten und Kräften.

o) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Last F_l kg*	Höhe zu Anfang h_l' m	Höhe am Ende h_l'' m	Steighöhe $h_l = h_l'' - h_l'$	Kraft F_k kg*	Höhe zu Anfang h_k' m	Höhe am Ende h_k'' m

Falltiefe $h_k = h_k' - h_k''$	Negative Arbeit der Last $F_l h_l$ kg*m	Positive Arbeit der Kraft $F_k h_k$ kg*m	Arbeitsgewinn $F_k h_k - F_l h_l$
		Summe	. . . . . .

Bemerkungen. Über Hebel mit fester Achse vgl. Aufgabe 23, S. 93. Für den Hebel mit beweglicher Achse benutzt man ebenfalls einen Stab, der 150 cm lang, 4 cm hoch und 2 cm breit ist. Man versieht ihn mit einer Hülse, in deren vorderer und hinterer Seite Zapfen sitzen, worin konische Vertiefungen eingebohrt sind (Fig. 94). In die obere und untere Seite der Hülse sind Schrauben eingesetzt, mit denen sie am Stabe befestigt wird. Auf der Hülse ist durch eingeritzte Striche der Querschnitt angegeben, worin die Achse liegt. Zur Befestigung der Achse dient die Lagerzwinge, die in Aufg. 23 S. 93 beschrieben worden ist.

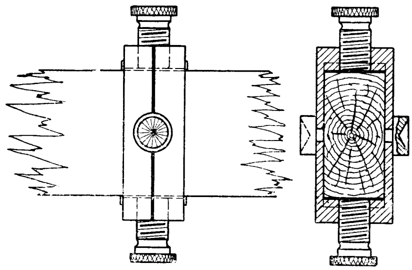

Fig. 94.

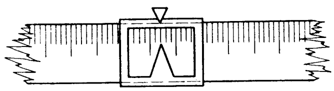

Fig. 95.

Als Hebel kann man auch einen Meterstab verwenden. Man darf ihn freilich nicht so stark wie den großen Hebel belasten; doch arbeite man auch bei ihm stets mit großen Hebelarmen. Den Meterstab, der immer auf die hohe Kante gestellt wird, versieht man am besten mit einer beweglichen Achse. Das ist auf verschiedene Weisen ausführbar.

Man kann ein Stahlprisma so auf einer Messinghülse befestigen, daß die Schneide auf beiden Seiten mit der geteilten Kante in einer Ebene liegt (Fig. 95). Auf der Unterseite der Hülse ist eine Schraube angebracht, womit sie am Stabe befestigt wird, und auf der einen Seite der Hülse ist ein rundes oder besser ein viereckiges Fenster ausgeschnitten, mit Dorn und Strich im Achsenquerschnitt, so daß man die Lage der Achse an der Teilung des Maßstabes genau ablesen kann.

Einfacher ist es, wie in Fig. 96, aus federhartem Messing eine Hülse zu biegen, sie oben zu durchbohren und auf der einen Seite ein Fenster auszuschneiden und den Achsenquerschnitt durch einen Strich zu markieren. Als Achse verwendet man je nach der Belastung, die man anzuwenden gedenkt, Nähnadeln, Stopfnadeln oder Stricknadeln. Das Lager besteht aus Grundbrett und zwei Pfosten. Die Pfosten sind oben rechteckig ausgeschnitten, und auf die untern Flächen der Ausschnitte sind

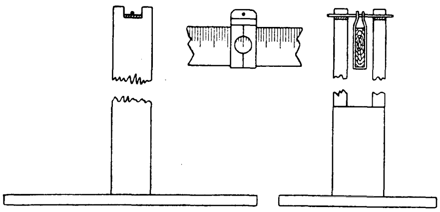

Fig. 96.

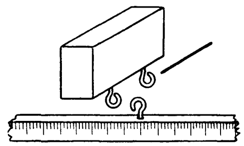

Fig. 97.

Glasplatten gekittet. Die Pfosten müssen so hoch sein, daß Platz für die kleinen Wageschalen bleibt, die die Belastungen aufnehmen. Man kann aber das Lager auch auf einer Zwinge anbringen.

Noch einfacher ist es, in einen Holzklotz zwei Ösen und in die Mitte des Meterstabes eine Öse einzuschrauben (Fig. 97). Den Holzklotz spannt man in die Feilklobenzwinge oder in eine Gestellklemme ein; als Achse dient eine Nadel.

Es empfiehlt sich nicht, an die Öse des Meterstabes eine Schnur zu binden und diese an einem Haken zu befestigen. Ebensowenig ist es ratsam, den Meterstab auf die Schneide eines Metronomsteges oder auf einen Keil von $\sim$ 5 cm Länge und 2,5 cm Schenkellänge oder eine Dreikantfeile zu legen.

Liegt die Hebelstange über der Tischfläche, so muß man durch untergesetzte Holzklötze oder hochgestellte Keile Anschläge herstellen, die dem Hebel nur geringe Schwingungsweiten erlauben.

Die wagerechte Gleichgewichtstellung markiert man durch ein Glas mit Wasser oder mit einer oder zwei Nadeln, die man in einen Holzklotz steckt, und diesen stellt man am einen Ende des Hebels auf.

Vgl. auch H. Hahn, *Freihandversuche 1, 142 ff.* Über die Verwendung des Hebels zur Auflösung algebraischer Gleichungen vgl. Walter Dyck, *Katalog math. u. math.-physik. Modelle 155 Nr. 40.* A. C. Lunn, *Mathem. Suppl. of School Science 1, 20; 1903.* F. C. Donecker, *School Science 5, 411; 1905.* N. J. Lennes, *ebd. 5, 602; 1905.* G. H. Meyers, *ebd. 7, 19; 1907* u. J. V. Collins, *ebd. 7, 524; 1907. Enzyklopädie d. math. Wissensch. I 2, 1067.*

32. Aufgabe. *Bestimme das Verhältnis der Wagearme.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Worthington *88 Nr. 4.*

Geräte.	Wage. Gewichtsatz. Kleine Bechergläser.	Schrot. Zinn- oder Bleiblatt.

Anleitung. a) Justiere mit Papier, Zinn- oder Bleiblatt die Wage, bis der Zeiger richtig einspielt.

b) Lege auf die linke Schale ein 200 gr-Stück, setze auf die rechte Schale ein Becherglas und belaste es mit Schrot, Papier u. dgl., bis die Wage wieder einspielt. Bezeichne die Länge des linken Wagebalkens mit l, die des rechten mit r, die Tara des Becherglases mit p_1 und stelle die Momentengleichung auf.

c) Ersetze das 200 gr-Stück durch ein zweites Becherglas voll Schrot, Papier u. dgl. Bezeichne diese Becherglastara mit p_2 und stelle wieder die Momentengleichung auf.

d) Ersetze die Tara p_1 durch das 200 gr-Stück. Lege, wenn kein Gleichgewicht vorhanden ist, auf der leichtern Schale p gr zu. Stelle die Momentengleichung auf, schaffe mit den frühern Gleichungen die Größen p_1 und p_2 fort und berechne das Verhältnis r/l der beiden Wagearme.

e) Wiederhole die Bestimmung mit den Belastungen 150, 100 und 50 gr.

Bemerkung. Wegen genauerer Verfahren vgl. KOHLRAUSCH[10] *57 Nr. 12.* FELGENTRÄGER *259 Nr. 87.*

33. Aufgabe. *Bestimme das Gewicht der Hebelstange ohne Wage mit dem Momentensatz.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Hebel mit verschiebbarer Achse (S. 115). Unterlagkeil (Monochordsteg) oder Gestell (Zwinge) mit Haken.	Ringgewichte von 1 kg* und 10 kg*. Meterstab.

Anleitung. a) Bringe den Hebel auf der Schneide eines Keiles in die Schwebe oder hänge ihn mit Schleife und Schnur wagerecht auf und bestimme so auf 1 mm genau die Lage des Schwerpunkts.

b) Schiebe die Achse in 20 cm Abstand vom rechten Stabende und belaste das linke Ende mit einem 1 kg*-Stück. Hänge an das rechte Ende ein 10 kg*-Stück und verschieb es so lange, bis der Hebel wagerecht steht. Miß die Entfernungen der Angriffstelle des 1 kg*-Stückes, des 10 kg*-Stückes und des Schwerpunkts von der Achse.

c) Stelle die Momentengleichung auf und berechne daraus das Gewicht des Stabes.

d) Wiederhole die Messungen dreimal mit andern Belastungen des Hebels und andern Lagen der Achse.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . . Länge des Hebels . . . cm. Abstand des Schwerpunktes vom linken Ende des Hebels . . . cm.

Belastung am linken Arm F_l kg*	Linker Hebelarm l_l cm	Belastung am rechten Arm F_r kg*	Rechter Hebelarm l_r cm	Gewicht des Hebels F_o kg*
			Mittel	. . . . .

VI. Arbeit.

34. Aufgabe. *Ändert sich die Reibung zwischen einem Seil und einem festen Stabe mit der Größe der Umschlingung?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Worthington *120 Nr. 1 u. 2.* Rintoul *119 Nr. 6 bis 9.*

Geräte. Dünne Kautschukschnur mit 2 Knoten (S. 39).
Reiner Holzstab (10 cm × 3 cm × 1 cm).
Reine Glasröhren von 10 cm Länge und 1 und mehr cm Durchmesser.
Rolle.
Bunsengestell.
Reiner glatter Bindfaden.
Haken.
Maßstab (30 cm).
Gewichtsatz.
Leichte Wageschale (Pillenschachtel).
Schmirgelpapier.

Anleitung. a) Befestige am einen Ende eines reinen glatten Bindfadens mit Haken und Schleife ein 100 gr*-Stück und binde an das andere Ende eine dünne Kautschukschnur, die mit zwei Knoten versehen ist. Nimm das eine Ende der Kautschukschnur in die Hand, laß die Schnur nebst Faden und Gewicht lotrecht hinabhangen und miß den Abstand der Knoten.

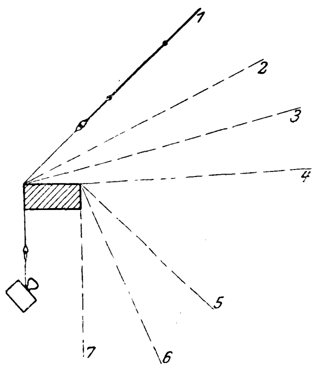

Fig. 98.

b) Lege den Faden gegen die linke Seite des frisch abgeschmirgelten Holzstabes, halte die Schnur so, daß der Faden mit der Oberseite des Stabes einen großen Winkel bildet (Stellung 1, Fig. 98). Verringere die Zugkraft an der Schnur ein wenig. Gleitet der Faden? Wer verhindert das Sinken des Gewichts? Vermindere die Zugkraft an der Schnur so weit, daß das Gewicht eben zu sinken beginnt, und miß den Abstand der Knoten. Zieh an der Schnur, bis sich das Gewicht eben zu heben beginnt, und miß den Abstand der Knoten. Ist er größer als zuvor und auch größer als bei Versuch (a)? Was hat die Zugkraft außer dem Gewicht noch zu überwinden?

c) Senke die Hand, die das Ende der Kautschukschnur hält, allmählich und bringe den Faden so in die Stellungen 2, 3, 4 usw. Ziehe jedesmal so stark, daß sich das Gewicht eben hebt, vermindere dann den Zug so weit, daß es sich eben senkt, und miß in beiden Fällen den Abstand der Knoten. Wie ändert sich die Reibung mit der Stellung des Fadens?

d) Wickle den Faden ein-, zwei- oder dreimal um den Holzstab. Wird die Reibung so groß, daß sie allein das Gewicht trägt?

e) Ersetze den Holzstab durch ein reines Stück einer Glasröhre von $\sim$ 1 cm Durchmesser und wiederhole die Versuche (a) und (b). Mache dabei den Winkel zwischen den beiden Fadenstücken $\sim 45^0$ und miß den Abstand der Knoten, sowohl wenn das Gewicht sich eben senkt, als auch wenn es sich eben hebt. Sind die Längen in beiden Fällen gleich? Hänge das Ende der Kautschukschnur an einem Gestell auf, belaste das untere Ende des Fadens mit Gewichten so stark, daß der Abstand der Knoten genau so groß wie bei beiden Messungen wird, und bestimme so die Zugkräfte in Grammgewicht. Wie groß ist die Reibung zwischen Faden und Glaswand?

f) Mache die Winkel zwischen den beiden Schnurteilen 90, 135, 180, 225, 270 und 315^0. Lege dabei stets dieselbe Stelle des Fadens an die Glasröhre und schätze die Winkel mit dem Auge.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Belastung des Fadens $F_0 = \ldots$ [gr*].

Winkel zwischen den Schnurteilen α	Zugkraft, die das Abwärtsgleiten verhindert		Reibung F gr*	Zugkraft, die das Aufwärtsgleiten verhindert		Reibung F_r'' gr*
	Knotenabstand	F_1 gr*		Knotenabstand	F_2 gr*	

h) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei

$$x = \alpha, \; y' = F_r' \text{ und } y'' = F_r''.$$

Wie ist der Unterschied der beiden Ordinaten zu erklären?

i) Mache die graphische Darstellung $x = \alpha$ und $y = \log F_2$. Welche Gestalt hat die Kurve?

k) Wiederhole die Versuche mit andern Belastungen des Fadens und mit weitern Glasröhren.

l) Wiederhole die Versuche (e) bis (k) mit einer Rolle. Wie lassen sich die großen Unterschiede der Reibungen an einem festen Rohr und an einer Rolle erklären? Welche Vorzüge hat bei der Änderung einer Zugrichtung die Rolle vor einem festen runden Stab?

Bemerkungen. Besondere Apparate zur Untersuchung der Seilreibung findet man bei Perry, *Applied Mechanics 228* und Duncan *144*.

Man wird wohl selten in der Lage sein, auf die Seilreibung tiefer einzugehen, und daher meistens die graphische Darstellung (i) weglassen.

35. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegeverhältnis, das Übersetzungsverhältnis und der Wirkungsgrad einer festen Rolle?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Baurolle (S. 124).
Ringgewichte von 5, 10, 20 kg*.
Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*.
Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*.
Seil.
Wageschale von 20 cm Durchmesser (S. 124).
Schmieröl.
Aufhängebügel.
Keil.
Hammer.
Schwarzes Garn.
Millimeterpapier.
Spitzes hartes Blei.

Anleitung. **a)** Bestimme das Gewicht der Wageschale nebst Zubehör f_k kg*, des Lasthakens f_l kg* und, wenn es geht, auch der Rollenscheibe f_0 kg*.

b) Schmiere die Rolle und hänge sie an den Galgenbügel, lege das Seil so in die Nute, daß die Enden ∾ 1 m über dem Fußboden liegen. Befestige am linken Ende einen starken Haken und am rechten Ende eine Wageschale. Zieh das Seil so, daß die Schale tiefer als der Haken hängt (Fig. 99). Befestige an diesem ein 5 kg*-Stück (Last F_l') und lege auf die Schale so viel Gewichte (Kraft F_k'), daß Gleichgewicht herrscht und das Seil straff gespannt wird. Sieh zu, ob die Maschine gut arbeitet.

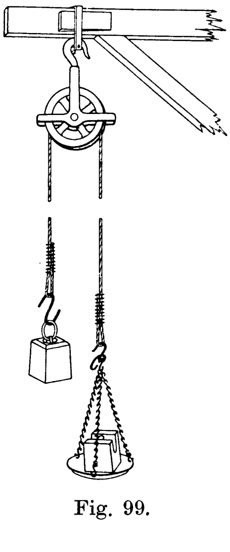

Fig. 99.

c) Mache eine Skizze der Maschine und erläutere kurz die Maschine.

d) Um wieviel Meter würde sich das eine Seilende heben, wenn man das andere um 1 m nach unten zöge? Wie groß ist bei der festen Rolle das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegeverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt?

e) Markiere mit Kreidestrichen eine Stelle am Last-Gewichtstück und an der Kraftschale und miß ihre Höhen (h_l' und h_k' m) über dem Fußboden. Bewege die Schale um ∾ 50 cm nach unten und miß die Höhen (h_l'' und h_k'' m) der Marken von Last und Kraft über dem Fußboden.

f) Wiederhole mindestens dreimal die Messungen und ändere dabei die Längen der Wege.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rolle Nr. . . .

Höhe der Kraft		Falltiefe der Kraft	Höhe der Last		Steighöhe der Last	Wegeverhältnis
vor dem Senken h_k' m	nach dem Senken h_k'' m	$h_k = h_k' - h_k''$	vor dem Steigen h_l'	nach dem Steigen h_l''	$h_l = h_l'' - h_l'$	$\sigma = h_k/h_l$
					Mittel	. . . . . .

Berechne das Wegeverhältnis und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

h) Hängt das Wegeverhältnis von der Kraft und der Last (von der Ausdehnung des Seils ist abzusehen) oder nur von dem geometrischen Bau der Maschine ab, mit andern Worten, ist dieses Verhältnis eine physikalische oder eine geometrische Größe? Wie groß ist der theoretische Wert dieses Verhältnisses? (Vgl. d) Wie ist seine Abweichung von dem gefundenen Mittelwert zu erklären?

i) Belaste die Schale mit so vielen Gewichten, daß sie nach schwachem Ziehen am Kraftseil mit gleichförmiger Geschwindigkeit sinkt. Die Belastung ist F_k' kg*. Nimm nun so viele Gewichte weg, daß die Schale nach schwachem Ziehen am Kraftseil mit gleichförmiger Geschwindigkeit steigt. Diese Belastung ist F_k'' kg*. Wie ist der Gewichtsunterschied zu erklären? Wie wirkt die Reibung beim Heben und wie beim Senken der Kraft? Wie kann man aus F_k' und F_k'' die Belastung der Kraftschale ermitteln, die der Last das Gleichgewicht hielte, wenn die Maschine ohne Reibung arbeitete?

k) Hänge an den Lasthaken der Reihe nach 0, 5, 10, 15 und 20 kg* und wiederhole den Versuch (i).

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rolle Nr. . . . Schale Nr. . . .
Gewicht der Wageschale nebst Zubehör $f_k = . . .$ [kg*].
Gewicht des Lasthakens $f_l = . . .$ [kg*].
Gewicht der Rollenscheibe $f_o = . . .$ [kg*].

Belastung des Hakens	Last	Belastung der Schale		Verbesserte Kraft	Verbessertes Übersetzungsverhältnis
F_l' kg*	$F_l = F_l' + f_l$	beim Sinken F_k' kg*	beim Steigen F_k'' kg*	$F_v = \frac{1}{2}(F_k' + F_k'') + f_k$	$\varkappa_v = F_l/F_v$

m) Berechne das Verhältnis der Last zur Kraft für jeden Versuch und nimm aus den Ergebnissen den Mittelwert. *Übersetzungsverhältnis.* Vergleiche das mittlere „verbesserte Übersetzungsverhältnis“ mit dem

Wegeverhältnis. Wie ist die Abweichung beider Werte zu erklären? Werden nur die Kraft und die Last bewegt oder auch Teile der Maschine? Es sei h_k der Weg der Kraft F_v, und h_l der Weg der Last F_l. Welche Gleichung besteht zwischen F_v, F_l, h_k und h_l? Vergleiche die Arbeit der Kraft mit der der Last. Wird bei der Maschine Arbeit gewonnen? *Gesetz der Erhaltung der Arbeit.* Wird Kraft gespart? Welchen Vorteil bietet diese Maschine?

n) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = F_l$ und $y = F_v$.

o) Wir wollen nun als wirkliche Kraft F_k kg* das Gewicht der Schale f_k kg* und die Belastung der Schale F_k' kg* ansehen, die nach schwachem Ziehen am Kraftseil die Schale gleichförmig nach unten bewegt, und also jetzt $F_k = F_k' + f_k$ setzen. Berechne aus den Versuchen (i) und (k) das *wirkliche Übersetzungsverhältnis* $\varkappa = F_l / F_k$.

p) Stelle die Ergebnisse in folgender Form zusammen:

Last $F_l = F_l' + f_l$	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Wirkliches Übersetzungs-verhältnis $\varkappa = F_l / F_k$	Reibung $F_r = F_k - F_l$

Achsenbelastung $F = F_k + F_l + f_o$	$\frac{F}{F_r}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}$	Leistung der Kraft bei 1 m Fall $L_k = F_k \frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}$	Wirkungs-grad $\eta = \frac{F_l'}{F_k}$

q) Stelle die Beziehung zwischen Kraft und Last graphisch dar und setze dabei $x = F_l$ und $y = F_k$. Welche Kurve erhält man? *Kraftkurve.*

r) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der graphischen Darstellung einen Faden aus schwarzem Garn so aus, daß er ebenmäßig dazu liegt, und markiere dessen Enden. Ziehe die so bestimmte Gerade. Ihre Gleichung sei $y = mx + n$. Entnimm aus der Zeichnung die Koordinaten zweier Punkte, die möglichst weit voneinander entfernt sind, aber noch innerhalb des Bereichs der Messungen liegen. Setze diese Werte in die Gleichung der Geraden ein und berechne aus den beiden so erhaltenen numerischen Gleichungen die Werte m und n. Es besteht also zwischen der Last F_l und der Kraft F_k die Beziehung $F_k = m F_l + n$, wo m und n die soeben berechneten Werte haben. Welche Kraft ist erforderlich, um die unbelastete Maschine ($F_l = 0$) in Bewegung zu setzen? Das Übersetzungsverhältnis ist

$$\varkappa = \frac{F_l}{F_k} = \frac{F_l}{m F_l + n} = \frac{1}{m + \frac{n}{F_l}}.$$

Hängt also das Übersetzungsverhältnis von der Last F_l ab? Wie ändert es sich mit wachsender Belastung? Gibt es einen größten Wert für das Übersetzungsverhältnis?

s) Wäre keine Reibung da, so würde $F_l = F_k$ sein. Was mißt der Unterschied $F_k - F_l$?

t) Wie groß ist die gesamte Belastung F kg* der Rollenachse, wenn man das Gewicht des Seiles vernachlässigt? Berechne aus den Versuchen (i) und (k) die Werte von F für alle Belastungen.

u) Stelle die Beziehung zwischen der gesamten Belastung der Rolle F und der Reibung F_r graphisch dar und setze dabei $x = F$ und $y = F_r$.

v) Verfahre wie bei (r) und bestimme aus der Geraden die Koeffizienten m' und n' der Beziehung $F_r = m' F + n'$. Wie groß ist die Reibung der unbelasteten Rolle? Ändert sich die Reibung mit der Belastung der Rolle? Gibt es einen größten Wert der Reibung?

w) Ist h_l m die Steighöhe der Last F_l' kg* und h_k m die Falltiefe der Kraft F_k kg*, so ist das Wegeverhältnis $\sigma = h_k/h_l$. Die aufgewandte positive Arbeit der Kraft ist $Q_k = F_k h_k$ [kg* m], die geleistete negative Arbeit der Last $Q_l = F_l' h_l$ [kg* m] und der Arbeitsverlust bei der Rolle $Q_r = Q_k - Q_l$. Verläuft die Umformung der Arbeit in t sek, so ist die Leistung der Kraft $L_k = Q_k/t$ [kg* m/sek], die Leistung der Last $L_l = Q_l/t$ [kg* m/sek] und der *Wirkungsgrad* der Rolle

$$\eta = \frac{L_l}{L_k} = \frac{F_l'}{F_k}.$$

x) Berechne aus den Versuchen (i) und (k) für jede Belastung den Wirkungsgrad. Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = F_l'$ und $y = \eta$ und benutze hier dasselbe Achsenkreuz wie bei (q). *Wirkungsgradkurve.* Ist die Kurve eine Gerade? Kann man eine einfache Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad η und der Belastung F_l' aufstellen?

y) Ändert sich der Wirkungsgrad mit der Belastung? Gibt es einen größten Wirkungsgrad der Rolle? Der Wirkungsgrad der Rolle ist $\eta = F_l'/F_k$, und ferner besteht die Beziehung

$$F_k = m F_l + n = m F_l' + m f_l + n = m F_l' + p,$$

wo $p = m f_l + n$ ist. Mithin ist

$$\eta = \frac{F_l'}{m F_l' + p} = \frac{1}{m + \frac{p}{F_l'}}.$$

Für welchen Wert von F_l' ist η am größten? Was ist der größte Wert von η?

Bemerkungen. Als feste Rolle benutzt man eine „Baurolle“ von 15 bis 20 cm Durchmesser. Die Weite der Seilnute ist 2,6 bis 2,8 cm, die Baulänge 33 bis 37 cm und das Gewicht $\sim$ 4,5 bis 5,9 kg*. Der drehbare Haken ist aus Schmiedeeisen, die gußeiserne Rolle ist ausgebohrt, der stählerne Bolzen gedreht und das Gehänge aus schmiedbarem Guß.

Die Rolle befestigt man mit Bügel und Keil an einem Galgen und benutzt ein Seil von 0,75 cm Durchmesser und mit geflochtnen Ösen. Die Wageschale besteht aus starkem Blech von $\sim$ 20 cm Durchmesser, und ist durch kleine Ketten mit einem Haken verbunden. Ihr Gewicht ist $\sim$ 220 gr*. Statt der Baurolle kann man auch eine der kleinen Rollen (vgl. S. 53) benutzen; dann muß man aber mit kleinern Lasten und Kräften arbeiten. Zur Messung der Kräfte kann man auch Federwagen verwenden, doch muß man dabei dafür sorgen, daß beim Messen die Seilstücke parallel laufen.

War die Rolle einige Monate nicht gebraucht, so läßt man die Versuche erst mit der ungeschmierten Maschine ausführen, diese dann ölen und die Versuche wiederholen. Man kann so bestimmen, um wieviel Prozent der Wirkungsgrad durch das Schmieren erhöht wird.

Bei den Gleichungen $F_k = mF_l + n$ und $F_r = m'F + n'$ wurden die Koeffizienten m, n, m' und n' mit Hilfe der graphischen Darstellung bestimmt. Die Ermittlung der besten Werte nach der Methode der kleinsten Quadrate ist auf der Schule im allgemeinen ausgeschlossen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Aufgaben 35 bis 39 gleichzeitig von verschiedenen Gruppen erledigen.

36. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegeverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines einrolligen Flaschenzuges?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Duncan *197*.

Geräte.

2 feste Rollen (S. 127).	Wageschale (s. oben).
1 bewegliche Rolle (S. 127).	Schmieröl.
Ringgewichte von 5, 10 und 20 kg*.	2 Keile.
Stabgewichte von 1, 2, 2, 5 und 10 kg*.	2 Aufhängebügel.
Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*.	Hammer.
Seil.	Schwarzes Garn.
	Millimeterpapier.
	Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. **a)** Bestimme das Gewicht f_k kg* der Wageschale nebst Zubehör, des Lasthakens f_l kg* und der beweglichen Rolle f_0 kg*.

b) Schmiere die Rollen. Keile die Bügel für die Rollen A und C (Fig. 100) fest und hänge die Rollen auf. Befestige bei D an der festen Rolle A ein Seil, führe es abwärts unter der beweglichen Rolle B hindurch, dann aufwärts und über die festen Rollen A und C und belaste das freie Ende E mit der Gewichtschale. Hänge an die Rolle B ein 5 kg*-Stück, ziehe die Gewichtschale nach unten, so daß sie tiefer als die Last und $\sim$ 80 cm über dem Fußboden hängt und lege so viel Gewichte darauf, daß das Seil straff gespannt wird und Gleichgewicht herrscht. Prüfe, ob die Maschine richtig arbeitet.

c) Verfahre wie bei Aufg. 35 (c).

d) Um wieviel Meter würde die Last gehoben, wenn man die Kraft um ein Meter senkte? Wie groß ist bei dieser Maschine das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegeverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt? Welche Aufgabe haben die Rollen A und C zu erfüllen?

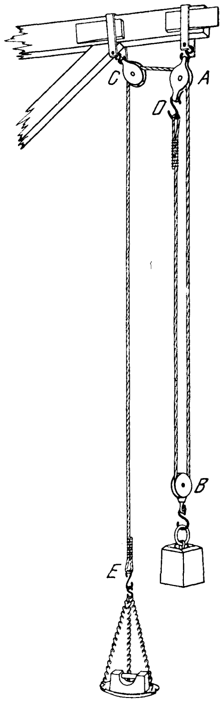

Fig. 100.

e) Bestimme wie in Aufg. 35 (e) bis (g) durch Versuche das Wegeverhältnis σ von Kraft und Last.

f) Untersuche wie in Aufg. 35 (h), ob das Wegeverhältnis nur vom geometrischen Bau der Maschine abhängt, und erkläre, warum der theoretische Wert von σ von dem gefundenen Mittelwert abweicht.

g) Ermittele wie in Aufg. 35 (i) bis (n) das verbesserte Übersetzungsverhältnis $\varkappa_v$ der beweglichen Rolle, rechne dabei zur Last noch das Gewicht der beweglichen Rolle f_o kg* hinzu, setze also $F_l = F_l' + f_l + f_o$. Vergleiche das Übersetzungsverhältnis $\varkappa_v$ mit dem Wegeverhältnis σ. Wird das *Gesetz der Erhaltung der Arbeit* erfüllt? Wird bei der Maschine Kraft gespart?

h) Betrachte als wirkende Kraft F_k kg* das Gewicht der Wageschale f_k kg* und die Belastung der Schale F_k' kg*, die nach schwachem Ziehen am Kraftseil die Schale gleichförmig nach unten bewegt. Es ist also nunmehr $F_k = F_k' + f_k$. Ermittle das wirkliche Übersetzungsverhältnis $\varkappa = F_l/F_k$.

i) Stelle die Ergebnisse von Versuch (g) in folgender Form zusammen:

Feste Rollen Nr. . . . und Nr. . . . Bewegliche Rolle Nr. . . .
Schale Nr. . . . Gewicht der Wageschale nebst Zubehör $f_k = \ldots$ [kg*].
Gewicht des Lasthakens $f_l = \ldots$ [kg*] Gewicht der beweglichen Rolle $f_o = \ldots$ [kg*].
Wegeverhältnis (vgl. e) $\sigma = \ldots$

Last $F_l = F_l' + f_l + f_o$	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Wirkliches Übersetzungsverhältnis $\varkappa = F_l/F_k$	Kraft zum Heben von Last und Maschinenteilen F_l/σ

Reibung $F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \left[\frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}\right]$	Leistung der Kraft bei σ m Fall $L_k = \sigma F_k \left[\frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}\right]$	Wirkungsgrad $\eta = \frac{F_l'}{\sigma F_k}$

k) Verfahre wie in Aufg. 35 (q) und (r). Zeichne und erläutere die *Kraftkurve.*

l) Die Kraft F_k leistet bei den Versuchen dreierlei: sie hebt die Last und Teile der Maschine, und sie überwindet die Reibung der Maschine. Die zum Heben der Last und der Teile der Maschine verwendete Kraft wird nach dem Gesetz der Erhaltung der Arbeit durch F_l/σ gemessen. Wie groß ist also die zur Überwindung der Reibung erforderliche Kraft F_r kg*?

$$F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}.$$

Berechne aus den Versuchsergebnissen von (g) die Kraft F_l/σ und die Reibung für jede einzelne Last.

m) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = F_l$ und $y = F_r$ und benutze dasselbe Achsenkreuz wie bei der Kraftkurve. Was für eine Kurve erhält man? *Reibungskurve.*

n) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der graphischen Darstellung einen Faden schwarzen Garns so aus, daß er ebenmäßig dazu liegt, und markiere die Enden. Ziehe die so bestimmte Gerade. Ihre Gleichung sei $y = m'x + n'$. Entnimm der Zeichnung die Koordinaten zweier Punkte, die möglichst weit voneinander entfernt sind, aber noch innerhalb des Bereichs der Messungen liegen. Setze diese Werte in die Gleichung ein und berechne aus den so erhaltenen beiden Gleichungen die Werte von m' und n'. Es besteht also zwischen der Last F_l und der Reibung F_r die Beziehung

$$F_r = m' F_l + n',$$

wo m' und n' die soeben berechneten Werte haben. Welche Reibung besitzt die unbelastete Maschine? Ist die Reibung von der Belastung der Maschine abhängig? Gibt es einen größten Wert der Reibung? Wann kann die Maschine *überholen*?

o) Wie groß ist das Wegeverhältnis σ, die geleistete negative Arbeit Q_l der Last F_l' und die aufgewandte positive Arbeit Q_k der Kraft F_k? Wie verhalten sich die Leistungen L_l und L_k von Last und Kraft? Der *Wirkungsgrad* ist

$$\eta = \frac{L_l}{L_k} = \frac{Q_l}{Q_k} = \frac{F_l' h_l}{F_k h_k} = \frac{F_l'}{\sigma F_k}.$$

p) Berechne aus den Versuchen (g) die Wirkungsgrade für die einzelnen Belastungen.

q) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = F_l'$ und $y = \eta$ und benutze dasselbe Achsenkreuz wie bei der Kraftkurve. *Wirkungsgradkurve.* Ist die Kurve eine Gerade? Kann man eine einfache Beziehung zwischen η und F_l' aufstellen?

r) Ändert sich der Wirkungsgrad mit der Belastung? Gibt es einen größten Wirkungsgrad der Maschine? Beachte bei der Beantwortung der Frage, daß $F_k = mF_l + n$ und $F_l = F_l' + f_l + f_0$ ist.

Bemerkungen. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

Die Rolle C soll verhindern, daß die Seilstücke, die um die bewegliche Rolle führen, die Kraftschale nicht berühren. Die Schale soll tiefer als das Lastgewicht hängen und ~ 80 cm über dem Fußboden liegen.

Man benutzt eiserne verzinkte Flaschenzugrollen mit breiter Rille. Die Rille ist ausgedreht, Kranz und Seitenränder sind abgedreht und die Löcher gebohrt. Das Gehäuse besteht aus schmiedbarem Guß und ist verzinkt. Der Kranzdurchmesser ist 5 cm, die Rillenbreite 1,1 cm und die Rillentiefe 0,7 cm. Zwei Rollen haben je eine bewegliche Öse; die dritte Rolle hat eine feste und eine bewegliche Öse.

Man achte beim Befestigen der Rollen darauf, daß die Schneiden der Keile der Zugrichtung entgegengesetzt sind.

37. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegeverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines dreirolligen Flaschenzuges?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *131 Nr. 1—5.*

Geräte. Dreirolliger Flaschenzug (S. 128). Gewichtschale (S. 124). Aufhängebügel. Keil. Hammer. Ringgewichte von 5, 10, 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2,5, 10 kg*. Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Schmieröl. Schwarzes Garn. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. a) Bestimme das Gewicht des untern Klobens f_0 kg* und der Gewichtschale f_k kg*.

b) Öle die Kloben, ziehe das Seil ein, hänge den Flaschenzug an einem Deckenhaken oder einem Galgen auf und prüfe, ob er ganz sicher hängt und gut arbeitet. Befestige am Seilende die Gewichtschale und an der untern Flasche ein 5 kg*-Stück und lege so viel Gewichte auf die Schale, daß die Last in jeder Stellung in Ruhe bleibt. Ziehe das Seil so, daß die Schale tiefer als die Last und ~ 1 m über dem Fußboden hängt (Fig. 101).

c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).

d) Wieviel Seilstücke gehen vom untern Kloben

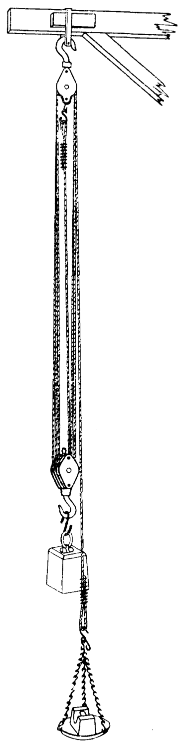

Fig. 101.

aus? Um wieviel Meter würde die Last gehoben, wenn man die Kraft um ein Meter nach unten zöge? Wie groß ist bei diesem Flaschenzug das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegeverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt?

e) Bestimme wie in Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche das Wegeverhältnis σ von Kraft und Last.

f) Bestimme die Kraft, die erforderlich ist, um die unbelastete Maschine in Gang zu setzen, lege dabei so viel Gewichte auf die Schale, daß sie sich gleichförmig nach unten bewegt, sobald man ein wenig am Kraftseil gezogen hat.

g) Wiederhole den Versuch mit 5, 10, 15 und 20 kg*.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Flaschenzug Nr. . . . Schale Nr. . . .
Gewicht des untern Klobens $f_o = \ldots$ [kg*]. Gewicht der Wageschale $f_k = \ldots$ [kg*].
Wegeverhältnis $\sigma \ldots$

Belastung des untern Klobens F_l' kg*	Last $F_l = F_l' + f_o$	Belastung der Schale F_k' kg*	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Übersetzungsverhältnis $\varkappa = F_l / F_k$	Kraft zum Heben von Last und Maschinenteilen F_l / σ

Reibung $F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \left[\frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}\right]$	Leistung der Kraft bei σ m Fall $L_k = \sigma F_k \left[\frac{\text{kg*m}}{\text{sek}}\right]$	Wirkungsgrad $\eta = \frac{F_l'}{\sigma F_k}$

i) Berechne das Übersetzungsverhältnis $\varkappa$ für jede einzelne Belastung. Wird an Kraft gespart? Welchen Vorteil bietet die Maschine? In welcher Beziehung stände nach dem Gesetz der Erhaltung der Arbeit das Wegeverhältnis zum Übersetzungsverhältnis, wenn keine Reibung vorhanden wäre? Wird nur die Last F_l' oder auch ein Teil der Maschine gehoben? Wozu wird außerdem Kraft verbraucht?

k) Verfahre wie in Aufgabe 35 (q) und (r) und Aufgabe 36 (l) bis (r) und zeichne die Kraftkurve, die Reibungskurve und die Wirkungsgradkurve der Maschine.

Bemerkungen. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

Jeder Kloben des Flaschenzuges hat drei gleich große Rollen, die nebeneinander auf derselben Achse sitzen. Die Rollen sind aus Gußeisen, gebohrt und gedreht. Der Durchmesser ist 6,5 cm und die Weite der Seilnute 0,95 cm. Die Seitenteile sind aus zähem Stahl, die drehbaren Haken und Ringe, sowie die Kreuzköpfe und Bügel aus sehnigem Schmiedeeisen, die Bolzen gedreht. Die Baulänge beträgt 24 cm und das

Gewicht ~ 1,6 kg*. Die Prüfbelastung ist 250 kg*, doch ist es ratsam, die höchste Arbeitsbelastung erheblich niedriger zu wählen, sie bleibt bei den Versuchen unter 50 kg*. Das Seil habe mindestens 0,75 cm Durchmesser.

38. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegeverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines Differentialflaschenzuges?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. WELLS *133 Nr. 2 bis 5.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 37, nur Differentialflaschenzug statt des dreirolligen Flaschenzuges. Vgl. Bemerkungen.

Anleitung. **a)** Bestimme das Gewicht der Wageschale f_k kg* und, wenn es geht, das der untern Rolle f_0 kg*, woran die Last gehängt wird,

b) Öle die Maschine. Hänge den Flaschenzug an einem Bügel des Galgens auf und prüfe, ob er ganz sicher hängt und gut arbeitet. Befestige am Haken des Flaschenzuges ein 10 kg*-Gewicht und an der Kette die Gewichtschale. Ziehe die Kette so, daß die Schale tiefer als die Last und ~ 1 m über dem Fußboden hängt (Fig. 102).

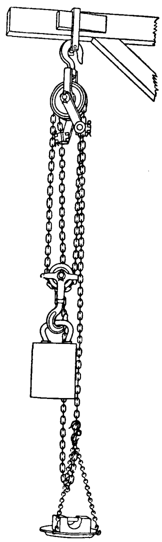

Fig. 102.

c) Verfahre wie bei Aufgabe 35 (c).

d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch einfache Rechnung ab, daß das Wegeverhältnis beim Heben der Last $\sigma_h = 2 d_1 : (d_1 - d_2)$ und beim Senken der Last $\sigma_s = 2 d_2 : (d_1 - d_2)$ ist, wenn d_1 cm den Durchmesser der großen Nute und d_2 cm den Durchmesser der kleinen Nute bezeichnen. Miß die beiden Durchmesser und berechne die Wegeverhältnisse. Hat die Dicke δ der Kette auf die Nenner oder auf die Zähler jener Brüche einen Einfluß? Was wird gleichsam durch die Dicke der Kette vergrößert? Miß die Dicke δ cm der Kette und berechne unter Berücksichtigung von δ nochmals die Wegeverhältnisse.

e) Bestimme wie bei Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche die Wegeverhältnisse des Flaschenzuges für das Heben und das Senken der Last.

f) Verfahre wie bei Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste bis ~ 50 kg*.

Bemerkungen. Die Tragfähigkeit des WESTON-Differentialflaschenzuges ist 250 kg*. Er darf jedoch nur auf $^2/_3$ dieser Belastung beansprucht werden und ist vor dem Gebrauch auf seine volle Tragkraft zu prüfen. Die Durchmesser der obern Rollen sind 8,3 und 6,5 cm und der Durchmesser der untern Rolle ist 7,6 cm. Das Gewicht beträgt ~ 1,4 kg*. Für 1 m Falltiefe braucht man ~ 4 m Kette.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

39. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegeverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad einer Schraubenwinde?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *133 Nr. 2 bis 5.*

Geräte. Schraubenwinde (S. 131). Seil. Gewichtschale (S. 124). Universalrolle (S. 53). Ringgewichte von 5, 10, 20, 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*. Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Schmieröl. Schwarzes Garn. Meterstab. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. a) Bestimme das Gewicht der Wageschale f_k kg* und das der Spindel nebst Seilscheibe und Lastbrett f_0 kg*.

b) Öle die Maschine und die Führungsrolle. Setze auf das Lastbrett ein 10 kg*-Stück. Befestige das eine Ende des Seils an der Seilscheibe, führe es wagerecht über eine feste Rolle und hänge an das andere Ende die Gewichtschale. Wickle das Seil so weit auf, daß der Haken der Schale dicht unter der Rolle und $\sim$ 1 m hoch über dem Fußboden hängt. Lege in die Schale so viel Gewichte, daß sie zwar das Seil straff spannen, doch keine Bewegung hervorrufen (Fig. 103).

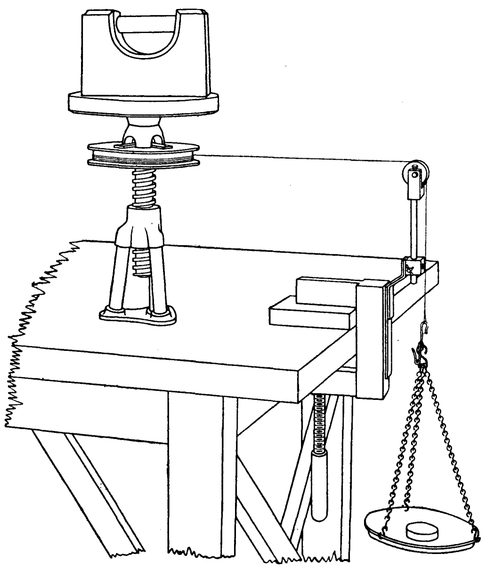

Fig. 103.

c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).

d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch Rechnung ab, daß das Wegeverhältnis der Winde

$$\sigma = \pi \frac{d + \delta}{h}$$

ist, wo d cm den Durchmesser der Seilscheibe, δ cm die Dicke des Seiles und h cm die Ganghöhe der Spindel bezeichnet. Miß d, δ und h (vgl. S. 17) und berechne daraus das Wegeverhältnis.

e) Miß die Höhe (h_l' cm) der obern oder untern Kante der Seilscheibe oder des Lastbrettes über dem Tisch, auf dem die Winde ruht, und wie in Aufgabe 35 (e) die Höhe (h_k' cm) der Kraftschale über dem Fußboden. Bewege die Kraftschale nach unten, bis sie nahezu den Fußboden berührt und miß wieder die Höhe der Last (h_l'' cm) und der Schale (h_k'' cm) über dem Tisch und dem Fußboden.

f) Wiederhole die Messungen zweimal und verfahre wie in Aufgabe 35 (g).

g) Nimm die Gewichtschale ab, wickle so viel (sagen wir z_1) ganze Windungen des Seiles, wie es geht, von der Seilscheibe ab und miß die Länge (l cm) des abgewickelten Seilstückes. Es ist dann l cm/z_1 die Falltiefe der Kraft für eine Umdrehung der Seilscheibe.

h) Schraube die Spindel so tief, wie es geht, mache auf der Seilscheibe gegenüber einer Marke oder einem festen Punkt auf dem Tisch oder der Wand einen Kreidestrich und miß sorgfältig die Höhe (s' cm) der obern oder untern Kante der Scheibe über dem Tisch. Drehe die Spindel so hoch wie möglich, zähle dabei die Anzahl z_2 der vollen Umdrehungen und miß wieder die Höhe s'' cm der Scheibe über dem Tisch. Es ist dann $(s'' - s')$ cm/z_2 die Steighöhe der Last für eine Umdrehung der Seilscheibe.

i) Berechne aus den Messungen (g) und (h) das Wegeverhältnis von Kraft zu Last. Bilde aus diesem Wert und den Ergebnissen von (e) und (f) das Mittel und vergleiche es mit dem in (d) theoretisch gefundenen Wegeverhältnis. Beantworte die Fragen in Aufgabe 35 (h).

k) Verfahre wie in Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste die Winde bis ~ 50 kg* und höher.

Bemerkungen. Füße und Spindel der dreifüßigen Schraubenwinde sind aus Schmiedeeisen, die Mutter ist aus Rotguß. Die Tragfähigkeit ist 2000 kg*, der Durchmesser der Spindel 3,8 cm, die Höhe beim niedrigsten Stand 28 cm, der Hub 10 cm und das Gewicht ~ 6 kg*. Die Gewindehöhe beträgt 1,3 cm und die Länge der Spindel 14 cm. Auf dem Kopf der Spindel ist eine Holzscheibe von 16,5 cm Durchmesser befestigt, an der das Kraftseil angreift. Darüber ist ein Brett angebracht, auf das man die Last stellt. Die Rolle zur Änderung der Kraftrichtung hat 6 cm Durchmesser. Eine andere Anordnung der Schraube findet man bei Borchardt *252 Nr. 28.*

Auch andere Maschinen wie Wellrad, Schneckengetriebe, Haspel usw. lassen ähnliche Messungen zu. Weitere schöne Aufgaben bietet die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Wassermotors, eines elektrischen Motors oder einer kleinen Wärmekraftmaschine.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

B. Bewegung der festen Körper.

I. Fall auf der schiefen Ebene.

Vorbemerkung. Galilei hatte bemerkt, daß ein Stein, der von bedeutender Höhe aus der Ruhelage herabfällt, fortwährend neue Zuwüchse an Geschwindigkeit erhält, und machte die Annahme, daß die Änderung der Geschwindigkeit in der einfachsten Weise stattfinde, d. h. daß in gleichen Zeiten gleiche Zuwüchse an Geschwindigkeit eintreten. Bezeichnet man die Änderung der Geschwindigkeit in einer Sekunde, die Beschleunigung, mit b und die Geschwindigkeit, die der Körper am Ende von t sek erlangt hat, mit v, so nimmt Galileis Annahme die mathematische Form

$$v = bt$$

an. Hieraus läßt sich durch Rechnung oder geometrische Betrachtung ableiten, daß der Körper in t sek den Weg

$$s = {}^1/_2\, bt^2$$

zurücklegt. Gelingt es nun, durch Versuche zu zeigen, daß diese Beziehung zwischen Zeit und Weg tatsächlich besteht, so wird Galileis Annahme gerechtfertigt.

Der gelehrte Pisaner führte die entscheidenden Versuche mit der Fallrinne aus. Galileo Galilei, *Unterredungen u. mathem. Demonstrationen.* Ostwald, *Klassiker d. exakt. Wissenschaften 24, 25.*

1. Aufgabe. *Prüfe durch Versuche mit der Fallrinne die Richtigkeit von Galileis Weg-Zeit-Gesetz.*

1. Verfahren.

Versuche ohne Zeitmessung.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Eggar *49.*

Geräte. 3 Fallrinnen (vgl. S. 142). 2 Lagerkugeln von 5 cm Durchmesser. Langer Holzkeil, der am dicken Ende ~ 7,5 cm hoch ist (vgl. S. 143). Zielbügel oder Karton und Schere (vgl. S. 143). Winkel. Reißnägel oder Klebwachs. Schublehre. 2 Auslöser (vgl. S. 143). Auffangeklotz aus Holz (25 cm × 25 cm × 5 cm). Wasserwage. 2 gleiche große Holzklötze (20 cm × 20 cm × 5 cm). Kasten mit Watte. Quecksilberbrett. Millimeterpapier. Kohlepapier. Bunsengestell.

Anleitung. [a) Eine Kugel rollt in t sek die ganze Länge (s cm) der schiefen Ebene AB (Fig. 104) hinab. In wieviel Sekunden durchläuft die Kugel eine schiefe Ebene, deren Länge $^1/_4\,s$ ist? Es sollen die Punkte C, D und E die Strecke AB in vier gleiche Teile zerlegen. In wieviel Sekunden rollt die Kugel von A nach C und in wieviel Sekunden von C nach B? In welcher Zeit erreicht eine andere gleiche Kugel, die bei E aufgesetzt wird, das untere Ende der schiefen Ebene? Wir wollen annehmen, man setze bei A und bei E gleiche Kugeln auf und lasse die Kugel bei E in dem Augenblick los, wo die erste Kugel bei C angelangt ist. Kommen beide Kugeln gleichzeitig am unteren Ende der schiefen Ebene an?

b) Gib durch Unterschieben des Keiles der Fallrinne von 2 m Länge eine geringe Neigung. Miß den Durchmesser jeder Kugel. Halte mit Hilfe des einen Auslösers eine Kugel am oberen Ende der Rinne fest und lege den Auffangeklotz vor das untere Ende der schiefen Ebene. Markiere auf der Rinne die Stellen A und B, über denen die Kugelmitte vor und nach dem Hinabrollen liegt. Nimm den vierten Teil des Abstandes AB und

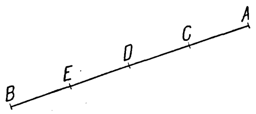

Fig. 104.

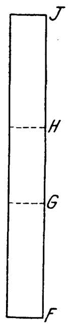

Fig. 105.

trage ihn von A aus nach unten bis C und von B aus nach oben bis E ab. Lege mit Hilfe eines andern Auslösers die zweite Kugel so auf der Rinne fest, daß sich ihr Mittelpunkt über E befindet. Schneide aus Karton einen 2 cm breiten rechteckigen Streifen, dessen Länge gleich der dreifachen Breite der Rinne ist, und falte ihn bei G und H (Fig. 105) so um, daß I nach G und F nach H fällt. Klappe die Seitenteile wieder hoch und hefte mit Reißnägeln oder Klebwachs diese Zielvorrichtung so an die Fallrinne, daß die Ebene $FGHI$ auf der Rinne senkrecht steht und in der Richtung CB um den Kugelhalbmesser von C absteht.

c) Laß den Mitarbeiter die Kugel, die über A steht, auslösen und gib, sobald ihr v o r d e r s t e r Punkt am Rande $FGHI$ des Zielbügels vorübergeht, die über E lagernde Kugel frei. Treffen beide Kugeln nahezu gleichzeitig in B ein? Wiederhole den Versuch mehrmals. Werden die Folgerungen, die wir aus dem Weg-Zeit-Gesetz gezogen haben, und damit die Annahme Galileis

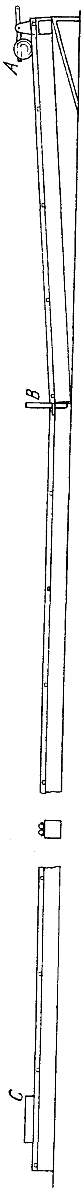

Fig. 106.

bestätigt? Liegt am Ende der Bewegung der Mittelpunkt der ersten Kugel über B? Ist der hierdurch bewirkte Zeitunterschied wahrnehmbar?

d) Gib der 1 m langen Fallrinne AB (Fig. 106) eine ganz geringe Neigung (höchstens 10^0) und setze die 2 m lange Rinne BC wagerecht daran. Befestige an der langen Rinne bei B die Zielvorrichtung. Füge bei B beide Rinnen mit der größten Sorgfalt so aneinander, daß eine Kugel, die von A nach B hinabrollt, mit dem geringsten Stoß auf die wagerechte Rinne hinübergeht. Stelle die Rinne BC genau wagerecht; laß die Kugel sehr langsam von B nach C und dann von C nach B zurückrollen und prüfe so die wagerechte Stellung der Rinne. Laß die Kugel von A nach C rollen und prüfe, ob die Fuge bei B stoßfrei ist. Miß den Durchmesser der Kugel. Stelle den Auslöser so auf, daß sein Blech genau über A liegt. Miß den Abstand AB, nimm ihn doppelt und trage diese Länge (BC) von B aus auf der wagerechten Rinne ab. Stelle den Auffangeklotz so auf, daß die Stirnfläche, die gegen B gekehrt ist, genau über der Stelle C der wagerechten Rinne liegt.

e) Wir wollen annehmen, daß in t sek die Kugel von A bis B rollt. Mit welcher Geschwindigkeit kommt sie in B an? Wie groß ist der Weg, den die Kugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf der wagerechten Bahn zurücklegt? Wo befindet sich also die Kugel $2t$ sek nach dem Loslassen?

f) Halte die Augen so, daß die beiden Kanten der Zielvorrichtung, die über B stehen, zusammenfallen. Laß den Mitarbeiter die Kugel bei A auslösen und s o f o r t eine gleiche bereit gehaltene zweite Kugel hinter das Auslöserblech legen, das nicht verschoben werden darf. Klopfe, sobald der vorderste Punkt der Kugel über B hinweggeht, mit einem Bleistift schnell und scharf auf den Tisch und laß den Mitarbeiter i n d e m s e l b e n A u g e n b l i c k die andere Kugel auslösen. Klopfe, sobald der vorderste Punkt der zweiten Kugel über B hinweggeht, wieder auf den Tisch. Stößt in demselben Augenblick die erste Kugel gegen den Auffangeklotz? Bestätigt auch dieser Versuch die Annahme Galileis? Vgl. Galilei, *a. a. O., S. 60.*

g) Stelle beide Fallrinnen mit zwei g l e i c h h o h e n Klötzen so auf, daß die unteren Enden nebeneinander liegen und unterstütze das obere Ende der längeren Rinne durch einen höheren dritten Klotz. Trage auf der Rinne AP_1 (Fig. 107) von A aus die Strecke AP_2 und auf der Rinne AP_2 von A aus die Strecke AP_1 ab. Man erhält so die Punkte Q_1 und Q_2. Stelle zwei Auslöser so auf, daß ihre Bleche genau über Q_1 und Q_2 stehen. Setze vor die Enden A der beiden Rinnen den Auffangeklotz. Verbinde beide Auslöserhebel durch eine Schnur. Lege bei Q_1 und Q_2 zwei gleiche Kugeln auf die Rinnen und löse gleichzeitig durch

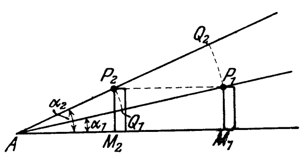

Fig. 107.

Ziehen an der Schnur beide Kugeln aus. Erreichen sie zu gleicher Zeit die unteren Enden der Rinnen?

h) Bezeichnen s_1, b_1, t_1 und s_2, b_2, t_2 die Wegestrecken, Beschleunigungen und Fallzeiten auf beiden schiefen Ebenen, so ist nach dem Weg-Zeit-Gesetz

$$s_1 = {}^1/_2\, b_1 t_1^2, \qquad s_2 = {}^1/_2\, b_2 t_2^2$$

und, da die Fallzeiten t_1 und t_2 gleich sind, $s_1/s_2 = b_1/b_2$. Da aber beide schiefen Ebenen auf gleich hohen Klötzen stehen, so ist ferner

$$s_2 \sin \alpha_1 = s_1 \sin \alpha_2,$$

wo α_1 und α_2 die Neigungswinkel der Rinnen AP_1 und AP_2 sind. Mithin ist

$$\frac{b_1}{\sin \alpha_1} = \frac{b_2}{\sin \alpha_2}$$

und, wenn g eine konstante Größe bezeichnet,

$$b = g \sin \alpha.$$

Welchen Wert nimmt b an, wenn $\alpha = 90^0$ wird, wenn also die Kugel lotrecht fällt? Welche physikalische Bedeutung hat mithin g? *Beschleunigung des freien Falles.* Vgl. GALILEI, *a. a. O., S. 32.*

i) Die Bewegung der Kugel auf der schiefen Ebene wird durch die Gleichungen

$$v = bt \quad \text{und} \quad s = {}^1/_2\, bt^2$$

beschrieben. Es ist ferner, wie eine kleine Rechnung zeigt,

$$^1/_2\, v^2 = bs \quad \text{oder, da} \quad b = g \sin \alpha,$$
$$^1/_2\, v^2 = gs \sin \alpha = gh.$$

Mithin hängt die Geschwindigkeit der Kugel am unteren Ende der Fallrinne nur von der Höhe h ab, aus der die Kugel hinabrollt. Diese

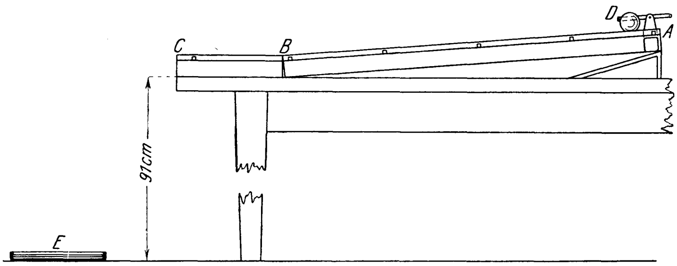

Fig. 108.

Folgerung aus den Fallgesetzen läßt sich durch Versuche prüfen, wenn man annimmt, daß die Wurfweite der hinabgerollten Kugel ein Maß für die Geschwindigkeit sei.

k) Füge an die 1 m lange Fallrinne AB (Fig. 108) die kurze Rinne BC unter Beachtung der Vorsichtsmaßregeln, die bei Versuch (d) angegeben worden sind, so an, daß C am Tischrand liegt. Befestige die kurze Rinne mit Zwingen oder sorge irgendwie für ihre unveränderliche Stellung. Setze an der Stelle D der Rinne das Blech des Auslösers auf und lege die Kugel dahinter. Laß die Kugel die Rinne hinabrollen und setze auf die Stelle des Fußbodens, wo die Kugel aufschlägt, einen kleinen Kasten E mit Watte oder ein Quecksilberbrett, worin ein Blatt Millimeterpapier liegt, das mit Kohlepapier bedeckt ist. Wiederhole den Versuch mehrmals. Verschiebe dabei den Keil oder Holzklotz unter der Rinne und laß jedesmal die Kugel **aus derselben Höhe** hinabrollen. Beachte dabei stets sorgfältig die bei (d) angegebenen Vorsichtsmaßregeln. Wird bei den Versuchen die Fallstrecke geändert? Muß man den Kasten E verschieben? Liegen auf dem Millimeterpapier, dessen Ort man nicht verändern darf, alle Fallspuren an derselben Stelle? Bestätigen die Versuche die aus den Fallgesetzen gezogenen Folgerungen?

2. Verfahren.

Messung der Fallzeiten für bestimmte Fallstrecken.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. GALILEO GALILEI, *Unterredungen usw.* OSTWALD, *Klassiker d. exakt. Wissenschaften 24, 25.*

Geräte.
- Mariottesche Flasche (vgl. S. 143).
- 2 Bechergläser.
- Wage nebst Massensatz.
- Fallrinne von 2 m Länge (vgl. S. 142).
- Lagerkugel von 5 cm Durchmesser.
- Auslöser (vgl. S. 143).
- Auffangeklotz (25 cm × 25 cm × 5 cm).
- Keil (vgl. S. 143).
- Millimeterpapier.
- Stechuhr.
- Untersatzklotz (25 cm × 25 cm × 5 cm).

Anleitung. **1)** Tariere auf der Wage das Becherglas aus. Fange darin die Wassermenge auf, die in ∼ 30 sek (Stechuhr) aus der Mariotte-

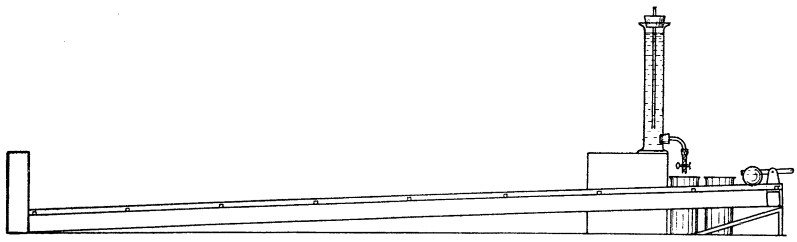

Fig. 109.

schen Flasche ausfließt, und wäge die aufgefangene Wassermasse. Berechne daraus die Zeit, in der ein Gramm Wasser ausströmt.

Wiederhole den Versuch dreimal und nimm aus den erhaltenen Ergebnissen das Mittel.

m) Gib der Fallrinne eine Neigung von $\sim 5^0$ (Fig. 109). Halte mit Hilfe des Auslösers eine Kugel am oberen Ende der Rinne fest, lagere vor das untere Ende den Auffangeklotz und miß den Abstand s des Auslöserblechs von der Stirnfläche des Auffängers, die der Kugel zugewandt ist. Stelle die Mariottesche Flasche auf und davor ein austariertes kleines Becherglas. Laß aus der Flasche das Wasser ausfließen und gib gleichzeitig die Kugel frei. Unterbrich in dem Augenblick, wo die Kugel gegen den Auffangeklotz schlägt, den Wasserausfluß. Wäge die Wassermasse, die während der Fallzeit ausgeflossen ist, und berechne daraus die Fallzeit.

n) Laß die Kugel die Strecken $^1/_4\,s$, $^2/_3\,s$ und $^3/_4\,s$ hinabrollen und bestimme jedesmal mit der Mariotteschen Flasche und der Wage die Fallzeit.

o) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:
Fallrinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Länge der Fallrinne $l = \ldots$ [cm]. Höhenunterschied der Enden der Fallrinne $h = \ldots$ [cm]. $\sin\alpha = h/l = \ldots$ $\alpha = \ldots{}^0$. Mariottesche Flasche Nr. . . . Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . 1 gr Wasser fließt in . . . sek aus.

Fallstrecke s cm	Ausflußmasse in gr	Fallzeit t sek	t^2/s
		Mittel	. . . .

Nimm den Mittelwert von t^2/s und berechne daraus die Beschleunigung $b = 2\,s/t^2$ und den Wert $t^2 \sin\alpha/s$.

p) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = s$ und $y = t^2$. Ziehe eine Gerade, die sich der Kurve möglichst anschmiegt, und berechne aus dem Richtungswinkel die Beschleunigung. Bestätigen die Versuche Galileis Annahme und Schlüsse?

q) Gib der Fallrinne eine Neigung von $\sim 10^0$, wiederhole Versuche, Berechnungen und graphische Darstellung von (m) bis (p). Vergleiche für beide Neigungen das Verhältnis der $\sin\alpha$ mit dem Verhältnis der Mittelwerte von b.

3. Verfahren.

Messung der Fallstrecken während bestimmter Fallzeiten.

(5 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Fallrinne von 2 m Länge (vgl. S. 142). Keil (vgl. S. 143). Lagerkugel von 5 cm Durchmesser. Auslöser (vgl. S. 143). Metronom. 4 Zielbügel (vgl. S. 143). Karton. Schere. Millimeterpapier. Schublehre.

Anleitung. r) Schiebe den Keil so unter die Rinne, daß der Höhenunterschied ihrer beiden Enden mindestens 2,5 cm beträgt. Miß den Durchmesser der Kugel und lege sie mit dem Auslöser am oberen Ende der Rinne fest. Markiere auf der Rinne die Stellung des Auslöserblechs. Stelle das Metronom so ein, daß es Sekunden schlägt, und zähle 3, 2, 1, 0, 1, 2, 3 usw. Löse bei Null mit dem Sekundenschlag die Kugel aus und stelle auf der Fallrinne Zielbügel (Fig. 110) auf, die ermöglichen, genau die Stellen der Rinne zu bestimmen, über denen der vorderste Punkt der Kugel bei den folgenden drei bis vier Sekundenschlägen steht. Stelle die Zielbügel aus 2 cm breiten Kartonstreifen, deren Ränder gerade sind, durch Umbiegen her. Vgl. (b). Die Ebene der Bügelkanten, die dem oberen Ende der Rinne zugekehrt sind, soll senkrecht zur Rinne stehen, und der vorderste Punkt der Kugel soll mit dem Sekundenschlag durch diese Ebene hindurchtreten. Nach einigen

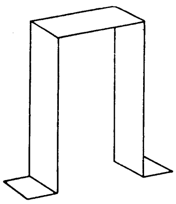

Fig. 110.

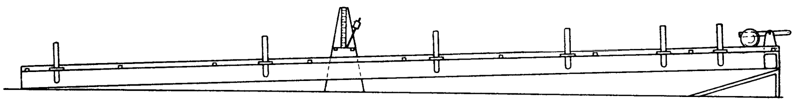

Fig. 111.

Versuchen gelingt es, die Bügel mit ziemlicher Genauigkeit richtig aufzustellen (Fig. 111). Markiere die Durchschnitte dieser Bügelebenen mit der Rinne. Miß die Entfernungen s dieser Marken von der Projektion des Auslöserblechs auf die Rinne.

s) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Fallrinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Metronom Nr. . . . Länge der Rinne $l = \dots$ [cm]. Höhenunterschied der Enden der Rinne $h = \dots$ [cm]. $\sin\alpha = h/l = \dots$ $\alpha = \dots{}^0$.

Fallzeit t sek	Ganze Fallstrecke s cm	Teilstrecke während jeder einzelnen Sekunde Δs	Geschwindigkeit v am Ende jeder Sekunde	Geschwindigkeitszunahme während jeder einzelnen Sekunde Δv	$b = \frac{2s}{t^2}$
			Mittel	. . . .	. . . . .

t) Berechne die Strecken Δs, die die Kugel in der ersten, zweiten, dritten usw. Sekunde zurückgelegt hat. Wie groß sind die mittleren Geschwindigkeiten während der einzelnen Sekunden? Berechne aus je zwei aufeinander folgenden mittleren Geschwindigkeiten die Geschwindigkeiten am Ende jeder einzelnen Sekunde. Wie groß ist die Geschwindigkeitsänderung in jeder Sekunde? Berechne die Beschleunigungen $b = 2s/t^2$. Vergleiche den Mittelwert von Δv mit dem Mittelwert von b.

u) Stelle den Zusammenhang zwischen Weg und Zeit durch eine Kurve dar und setze dabei $x = t$ und $y = s$ (Fig. 112).

Bezeichnet s den in t Sekunden zurückgelegten Weg und v_m die mittlere Geschwindigkeit in dieser Zeit, so ist $s = v_m t$ und mithin $v_m = s/t$. Betrachten wir die *Weg-Zeit-Kurve* (s), so sehen wir, daß der am Ende der dritten Sekunde zurückgelegte Weg durch AB und der am Ende der vierten Sekunde zurückgelegte Weg durch CD dargestellt ist. Mithin ist der in der vierten Sekunde zurückgelegte Weg $CD - AB = ED$, also die mittlere Geschwindigkeit in der vierten Sekunde $ED/1$, d. h. die mittlere Geschwindigkeit während jeder Sekunde wird durch den Wegzuwachs Δs während dieser Sekunde dargestellt.

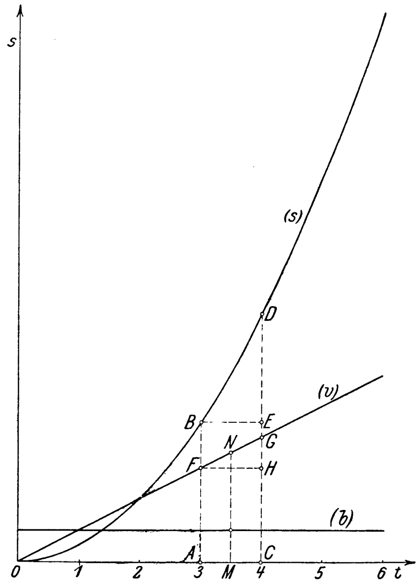

Fig. 112.

Um die Kurve der mittleren Geschwindigkeit zu erhalten, zeichnen wir in der Mitte M der Strecke AC die Ordinate $v_m = MN = ED$. Wiederholen wir die Konstruktion für alle Punkte der Wegkurve, so erhalten wir die *Geschwindigkeitskurve* (v).

Bezeichnet v_a die Geschwindigkeit am Anfang und v_e die Geschwindigkeit am Ende der Zeit t und b die Beschleunigung, so ist $v_e = v_a + bt$, also $b = (v_e - v_a)/t$. In der Geschwindigkeitskurve (v) stellt AF die Geschwindigkeit am Anfang und CG die Geschwindigkeit am Ende der vierten Sekunde dar, es ist also die Beschleunigung in der vierten Sekunde $b = (CG - AF)/AC = HG$, da AC eine Sekunde darstellt. Zeichnen wir also in der Mitte M der Strecke AC die Ordinate $ML = HG$, so ist L ein Punkt der *Beschleunigungskurve* (b). Dieses Verfahren ist nur zulässig, wenn die Beschleunigung sich stets gleichbleibt.

v) Mache den Höhenunterschied der Enden der Rinne erst gleich 5 und dann gleich 7,5 cm und verfahre wie bei (r) bis (u). Stelle aus den Ergebnissen der Versuche (r) bis (v) die Werte der Beschleunigungen und Neigungen zusammen.

Länge der Fallrinne $l = \ldots$ [cm].

Höhenunterschied h der Enden der Rinne	Neigung der Rinne $\sin\alpha = h/l$	Mittelwert der Beschleunigung b	$b/\sin\alpha$

Stelle den Zusammenhang zwischen $\sin\alpha$ und b graphisch dar und setze dabei $x = \sin\alpha$ und $y = b$. Wie hängt also die Beschleunigung von der Neigung der Rinne ab?

4. Verfahren.

Versuche mit der Fallrinne von Duff.

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. A. Wilmer Duff, *School Science 7, 141 u. 236; 1907.*

Geräte. Fallrinne nach Duff (vgl. S. 144).
Lagerkugel von 3,8 cm Durchmesser.
Keil (vgl. S. 143).
Auffangeklotz.
Meterstab.
Streubüchse mit Bärlappsamen.
Watte.
Tuch.
Millimeterpapier.
Stechuhr.

Anleitung. **w)** Wische die Fallrinne (Fig. 113) mit einem feuchten weichen Lappen gründlich ab, reibe sie tüchtig trocken und bestreue sie mit Bärlappsamen. Gib mit dem Holzkeil der Rinne eine

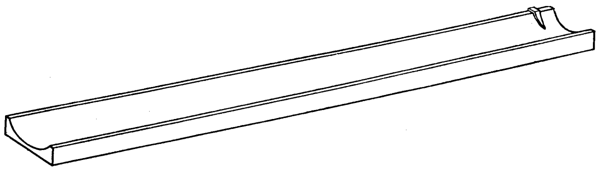

Fig. 113.

geringe Neigung, sorge dabei dafür, daß die unteren Ränder am oberen und unteren Ende genau wagerecht liegen.

x) Setze die Kugel oben an den Rand des Metallstreifens und laß sie los. Blase den Samen weg oder kippe die Rinne um. Welche Kurve hat die Kugel auf der Rinne aufgezeichnet? Miß von der Spitze des Metallstreifens aus längs der Mittellinie der Rinne die Strecken $P_0 P_\nu$ (Fig. 114).

y) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Höhenunterschied der beiden Enden der Rinne $h = \ldots$ [cm]. Länge der Rinne $l = \ldots$ [cm]. $\sin\alpha = h/l \ldots$ $\alpha = \ldots$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fallstrecke $s_\nu = P_0 P_\nu$	Folge der halben Wellenlängen $^1/_2\,\lambda$	Unterschiede der halben Wellenlängen $\Delta\,(^1/_2\,\lambda)$	Folge der ganzen Wellenlängen λ	Unterschiede der ganzen Wellenlängen $\Delta\,\lambda$	Folge der drei halben Wellenlängen $^3/_2\,\lambda$	Unterschiede der drei halben Wellenlängen $\Delta\,(^3/_2\,\lambda)$	Folge der doppelten Wellenlängen $2\,\lambda$	Unterschiede der doppelten Wellenlängen $\Delta\,(2\,\lambda)$
Mittel		......		......		......		......

z) Welche Bewegung würde die Kugel ausführen, wenn die Rinne wagerecht stände? Wie würde sich die Kugel bewegen, wenn man sie auf der Mittellinie der Rinne losließe? Wie entsteht die Wellenlinie? Am Anfang einer halben Schwingung ist die Kugel in P_ν und an deren Ende in $P_{\nu+1}$. Um welche Strecke bewegt sich also die Kugel während der halben Schwingungsdauer längs der Mittellinie der Rinne abwärts? Wie groß sind die einzelnen aufeinanderfolgenden halben Wellenlängen P_0P_1, P_1P_2, P_2P_3, ...? Trage die Ergebnisse in die zweite Spalte der Tafel ein. Man mißt hier die Zeit in halben Schwingungsdauern. Werden in t_1 halben Schwingungsdauern s_1 cm zurückgelegt, so ist $P_0P_\nu = s_1 = {}^1/_2\, b_1 t_1^2$. Mithin sind die in den aufeinanderfolgenden halben Schwingungsdauern zurückgelegten Wege P_0P_1, P_1P_2, P_2P_3 ... gleich $^1/_2\, b_1$, $^3/_2\, b_1$, $^5/_2\, b_1$, ... und die Unterschiede dieser halben Wellenlängen $P_1P_2 - P_0P_1$, $P_2P_3 - P_1P_2$, ... gleich b_1. Trage diese Unterschiede in die dritte Spalte ein. Sind alle Unterschiede gleich groß? Bilde den Mittelwert von b_1.

Fig. 114.

aa) Wie groß sind die einzelnen aufeinanderfolgenden ganzen Wellenlängen P_0P_2, P_2P_4, P_4P_6, ...? Trage die Ergebnisse in die vierte Spalte ein. Werden in t_2 ganzen Schwingungsdauern s_2 cm zurückgelegt, so ist $s_2 = {}^1/_2\, b_2 t_2^2$, und es sind mithin die Unterschiede der ganzen Wellenlängen $P_2P_4 - P_0P_2$, $P_6P_4 - P_2P_4$, ... gleich b_2. Trage die Ergebnisse in die fünfte Spalte ein. Sind alle Unterschiede gleich groß? Bilde den Mittelwert von b_2. Welche Beziehung besteht bei (z) und (aa) zwischen den Zeiteinheiten, und welcher Zusammenhang daher zwischen b_1 und b_2? Berechne b_1 aus b_2.

bb) Miß die Wege in drei halben Wellenlängen und die Zeiten in drei halben Schwingungsdauern und berechne den Mittelwert b_3 und daraus b_1.

cc) Miß die Wege in doppelten Wellenlängen und die Zeiten in doppelten Schwingungsdauern und berechne den Mittelwert b_4 und daraus b_1. Nimm aus den vier Werten von b_1, die sich bei (z) bis (cc) ergeben haben, den Mittelwert. Bestimme die Schwingungsdauer der Kugel und berechne aus b_1 die in cm/sek² gewonnene Beschleunigung b.

dd) Stelle die Ergebnisse von (x) und (z) graphisch dar, setze dabei $x = t_1$ und $y = s_\nu = P_0 P_\nu$. *Wegkurve* (Fig. 115).

ee) Ziehe in einem Punkt der Wegkurve eine Tangente. Mache TR gleich einer halben Schwingungsdauer und miß die Ordinate RQ. Ihre Länge stellt die Geschwindigkeit zur Zeit OM am Ende des Weges MP dar. Zeichne in M die Ordinate $MP' = RQ$. P' ist ein Punkt der *Geschwindigkeitskurve*. Verbinde die einzelnen Punkte dieser Kurve durch eine punktierte Linie.

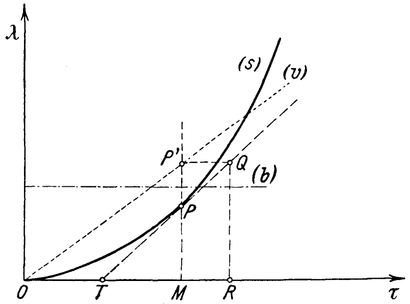

Fig. 115.

ff) Leite in ähnlicher Weise aus der Geschwindigkeitskurve die *Beschleunigungskurve* ab. Verbinde die einzelnen Punkte durch eine gestrichelte Linie.

gg) Stelle mit der Tafel von (y) die Kurve $x = t_1$, $y = \frac{1}{2}\lambda$ und die Kurve $x = t_1$, $y = \Delta\,(\frac{1}{2}\lambda)$ dar. Vergleiche sie mit der Geschwindigkeitskurve und der Beschleunigungskurve.

hh) Ändere die Neigung der Rinne und verfahre wie bei (w) bis (gg). Stelle aus den Ergebnissen dieser Versuche und der Versuche (w) bis (gg) die Werte der Beschleunigungen und Neigungen zusammen.

Länge der Fallrinne $l = \ldots$ [cm].

Höhenunterschied h der Enden der Rinne	Neigung der Rinne $\sin\alpha = h/l$	Mittelwerte der Beschleunigungen b	$b/\sin\alpha$

Stelle den Zusammenhang zwischen $\sin\alpha$ und b graphisch dar und setze dabei $x = \sin\alpha$ und $y = b$. Wie hängt also die Beschleunigung von der Neigung der Rinne ab?

Bemerkungen. Die lange Fallrinne besteht aus zwei Messingröhren von 1,2 cm Durchmesser und 200 cm Länge, die dicht nebeneinander auf einer Holzleiste (200 cm × 4 cm × 4 cm) befestigt sind. Die beiden kürzeren schiefen Ebenen sind genau ebenso eingerichtet, doch ist die eine 1 m und die andere nur 28 cm lang.

Wichtig ist es, daß man je zwei Rinnen so aneinander zu setzen vermag, daß die Kugel über die Fuge hinwegrollt, ohne einen störenden Stoß zu erhalten.

F. C. G. Müller *(Technik d. phys. Unterr. 59 Nr. 32)* hat den beachtenswerten Vorschlag gemacht, die Fallrinne aus Spiegelglas-Streifen herzustellen; leider ist das nicht allgemein durchführbar, da man solche Streifen nur gelegentlich erhalten kann. Aus Barometerröhren kann man nur Rinnen von 1,50 m Länge anfertigen. Rinnen aus gezogenem Messing von V-förmigem Querschnitt haben sich nicht bewährt, da sich diese Schienen nicht oder doch nur mit großen Kosten ausreichend gerade richten und auch nicht genügend stoßfrei aneinander fügen lassen.

Galilei benutzte bei seinen Versuchen Rinnen von 8 m Länge; man erhält jedoch mit Rinnen von 2 m Länge durchaus befriedigende Ergebnisse.

Der Untersatzkeil hat eine Grundfläche von 24 cm $\times$ 10 cm und einen Rücken von 7,5 cm $\times$ 10 cm. Wenn es auch ratsam ist, mit geringen Neigungen zu arbeiten, so darf man sie doch nicht so klein wählen, daß sich die Unvollkommenheiten der Bahn störend bemerkbar machen können.

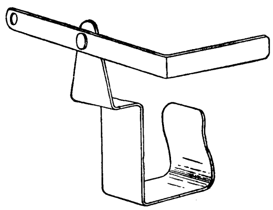

Fig. 116.

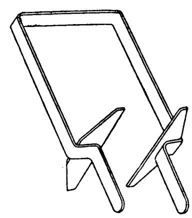

Fig. 117.

Als Untersatzklötze benutzt man bei den Übungen Bretter aus Eichenholz von folgenden Größen: a) 15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 1,25 cm. b) 15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 2,5 cm. c) 15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 5 cm. d) 20 cm $\times$ 20 cm $\times$ 5 cm. e) 25 cm $\times$ 25 cm $\times$ 5 cm. Hat man reichliche Mittel, so schaffe man für jeden Schüler zwei Stück von jeder Sorte an.

Als Rollkörper benutze man Lagerkugeln aus Stahl von 5 cm Durchmesser, doch kann man auch kleinere Kugeln verwenden, deren Durchmesser aber mindestens 1,2 cm betragen soll.

Als Auslöser (Fig. 116) dient nach dem Vorgang von F. C. G. Müller ein Messinghebel, dessen einer Arm rechtwinklig umgebogen ist und als Sperrblech dient. Das Niederschlagen des anderen Hebelendes macht den Rollkörper ohne Stoß frei. Will man die Kugel ganz am Ende der Rinne auslösen, so setzt man den Auslöser auf einen Holzklotz und beschwert seinen Fuß, oder man klemmt ihn an einem Gestell fest.

Als Zielbügel kann man die Messingfeder benutzen, die in Fig. 117 abgebildet ist.

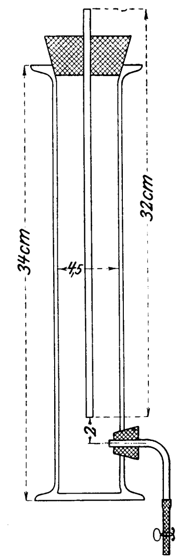

Fig. 118.

Die Zeitmessung bereitet bei dieser Aufgabe große Schwierigkeiten. Beim ersten Verfahren ist sie umgangen, und bei der Galileischen Versuchsform wird sie mit einer Mariotteschen Flasche ausgeführt. Diese hat die in Fig. 118 abgebildete Einrichtung. In einen Glaszylinder von 34 cm Höhe und 4,5 cm innerem Durchmesser ist mit einem Kautschukstopfen eine Glasröhre von 32 cm Länge und 0,5 cm lichter Weite eingesetzt. Das untere Ende der Röhre liegt 2 cm über dem wagerechten Ende der Ausflußröhre. Diese ist rechtwinklig umgebogen und die Ausflußöffnung auf 2 mm Durchmesser verengert. (Vgl. H. Hahn, *Freihandversuche 1, 19.*) Über die Ausflußröhre ist ein Kautschukschlauch von 0,3 mm lichter Weite gezogen, den man mit einem Quetschhahn verschließen kann.

Eine recht einfache Zeitbestimmung gestattet die Fallrinne von Duff (vgl. S. 140). Sie besteht aus einem Holzbrett (120 cm $\times$ 12 cm $\times$ 3,5 cm) mit einer Rinne, deren Querschnitt ein Kreisabschnitt von 6,25 cm Halbmesser, 10 cm Sehne und 2,5 cm Höhe ist. Die Rinne ist schwarz poliert. An ihrem oberen Ende ist zur Führung der Kugel ein zugespitzter Streifen aus Messingblech angebracht, dessen oberer Rand der Rinnenbreite parallel läuft und bis zur Mitte der Rinne reicht. In die Rinne ist die Mittellinie eingeritzt. Stellt man die Rinne wagerecht, so kann man mit einem isochronen Pendel die Schwingungsdauer τ der Kugel bestimmen.

Genauer kann man die Zeit mit einer schwingenden Feder oder Stimmgabel messen, die am oberen Ende einer kurzen Fallrinne befestigt ist. Als Rollkörper benutzt man einen Wagen, der eine Schreibfläche trägt, worauf die Feder oder Gabel ihre Schwingungen aufzeichnet. Ich bin jedoch der Meinung, daß eine solche Einrichtung für Schülerübungen nicht einfach genug und ihre Handhabung bei den gebräuchlichen Ausführungen noch zu zeitraubend ist. Freilich kann man mit diesem Verfahren die Schwerebeschleunigung g bestimmen, was die oben angegebenen Verfahren nicht ohne weiteres gestatten.

Will man mit der Fallrinne g bestimmen, so kann man nach Kelsey *(45)* folgende Betrachtungen und Messungen durchführen: Rollt die Kugel von der Masse m die Strecke l längs der Rinne, deren Neigungswinkel α ist, hinab, so erleidet ihr Arbeitsvorrat den Verlust

$$Q = mgl \sin\alpha$$

oder, wenn L die Länge und H die Höhe der schiefen Ebene bezeichnet,

$$Q = mgl \cdot \frac{H}{L}.$$

Diese Energie leistet die Arbeit Q_1, die erforderlich ist, um die Reibung zu überwinden, und liefert die Wucht Q_2 der Abwärtsbewegung und die Wucht Q_3 der Drehung der Kugel, so daß

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

ist. Zur Bestimmung der Arbeit, die bei der Überwindung der Reibung verbraucht wird, gibt man der Rinne eine solche Neigung φ, daß sich die Kugel, wenn man sie schwach anstößt, mit gleichbleibender Geschwindigkeit abwärts bewegt. Es ist dann $Q_1 = mgl \sin\varphi$ oder, wenn h die Höhe bezeichnet, die nunmehr die schiefe Ebene hat,

$$Q_1 = mgl \cdot \frac{h}{L}.$$

Durchrollt bei dem Neigungswinkel α die Kugel in t Sekunden die Strecke l der schiefen Ebene, so hat sie am Ende dieser Zeit die Verschiebungsgeschwindigkeit $v = 2\,l/t$ erreicht. Mithin ist die Wucht der Abwärtsbewegung

$$Q_2 = 2\,m\,\frac{l^2}{t^2}.$$

Dreht sich dabei die Kugel mit der Winkelgeschwindigkeit ω, so ist, wenn ϱ den Trägheitshalbmesser bezeichnet, $Q_3 = {}^1/_2\, m\varrho^2\omega^2$ und, wenn r der Kugelhalbmesser ist, $\omega = v/r$, mithin $Q_3 = {}^1/_2\, m\varrho^2 v^2/r^2 = 2\,m\varrho^2 l^2/r^2 t^2$ oder, da für die Kugel $\varrho^2/r^2 = {}^2/_5$ ist,

$$Q_3 = \frac{4}{5}\,m\,\frac{l^2}{t^2}.$$

Es besteht also die Gleichung

$$mgl \cdot \frac{H}{L} = mgl \cdot \frac{h}{L} + 2m\frac{l^2}{t^2} + \frac{4}{5}m\frac{l^2}{t^2},$$

woraus sich

$$g = \frac{7}{5} \cdot \frac{2lL}{(H-h)t^2}$$

ergibt. Durch Messung von l, L, H, h und t kann man also die Größe der Schwerebeschleunigung bestimmen. Vgl. hierzu ferner P. Volkmann, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 7, 161; 1894.* W. Schell, *Theorie d. Bewegung u. Kräfte*[2] *2, 480.* E. J. Routh-Schepp, *Die Dynamik d. Systeme starrer Körper 1, 127 u. 147.* W. Voigt, *Elementare Mechanik 250.*

Die angeführten Verfahren kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen in allseitigem Angriff ausführen lassen.

Die besten Ergebnisse erhält man mit Galileis Verfahren. Bequemer, doch weniger genau als mit der Mariotteschen Flasche, kann man die Fallzeiten mit der Stechuhr messen. Recht schwierig ist es, mit dem dritten Verfahren befriedigende Ergebnisse zu erzielen. Beim vierten Verfahren wird man, wenn die Schüler der Klasse nur mäßig begabt sind, die Abschnitte (aa) bis (cc) weglassen. Steht die schiefe Ebene windschief, so erhält man aus den Messungen der halben und dreihalben Wellenlängen schlechte Ergebnisse.

II. Freier Fall.

Vorbemerkung. Die Versuche mit der Fallrinne haben bestätigt, daß zwischen der Beschleunigung b und dem Wege s, der in t Sekunden längs der schiefen Ebene zurückgelegt wurde, die Gleichung $s = {}^1/_2\, b t^2$ besteht, und daß bei einer Rinne, die unter dem Winkel a gegen die Wagerechte geneigt ist, die Beziehung $b = g \sin a$ gilt, wo g die Fallbeschleunigung bedeutet. Wird die Rinne senkrecht gestellt, also $a = 90^0$, so fällt der Körper lotrecht neben der Rinne hinunter, und es muß

$$s = {}^1/_2\, g t^2$$

sein.

2. Aufgabe. *Prüfe mit einem frei fallenden Körper die Richtigkeit von Galileis Weg-Zeit-Gesetz und bestimme angenähert die Fallbeschleunigung.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Whiting *333 Nr. 56.* Gregory-Simmons *1, 163 Nr. 99.*

Geräte. Whitings Pendel nebst Zubehör. Fallkörper. Seidengarn. Weißes Papier. Kohlepapier. Schere. Reißnägel. Streichhölzer. Stechuhr. Millimeterpapier. Pinsel oder Feder. Kasten mit Watte u. dgl.

Anleitung. a) Stelle das Pendelbrett so auf, daß seine untere Vorderkante mit dem Rande des Tisches zusammenfällt. Hefte auf die polierte Seite des Pendelstabes, aus dem die Bleizylinder entfernt worden sind, einen Streifen weißes Papier und darüber einen Streifen Kohlepapier. Setze das Pendel mit seiner Schneide auf das Lager. Hänge wie in Fig. 119 den Fallkörper an einem Seidenfaden auf, der so lang ist, daß dieser den Pendelstab zur Seite ziehende Körper einige Zentimeter höher als das obere Ende des Pendels liegt. Nimm den Faden von der untern Rolle, nicht aber von der obern, herunter, halte ihn derart fest, daß der Fallkörper neben dem obern Teil des Pendelstabes hängt, und verschiebe die Pendelschneide so auf ihrem Lager oder die obere Rolle so in ihrem Schlitz, daß die Vorderseite des lotrecht herabhangenden Pendelstabes den scharfen Mittelrand des Fallkörpers eben berührt. Lege nun, ohne dabei die Pendelschneide zu verschieben, den Faden wieder über die untere Rolle. Das Gewicht des Fallkörpers zieht den Pendelstab etwas zur Seite. Schwingt der Fallkörper, so bringe ihn durch leichte zweckmäßig gerichtete Stöße oder mit einem Pinsel oder einer Feder zur Ruhe, oder warte, bis er sich von selbst beruhigt hat. Miß die Höhe (H cm) der Schneide des Fallkörpers über einem festen Punkt unterhalb des Pendels. Setze einen Kasten mit Watte, Sägespänen oder Sand rechts vom Pendel auf den Boden. Brenne den Faden dicht über der unteren Rolle durch. Der Fallkörper stößt gegen den Stab, sobald dieser seine lotrechte Stellung erreicht hat, und erzeugt darauf eine Schlagmarke. Miß die Höhe h dieser Marke über dem erwähnten festen Punkt. Welche Strecke hat der Doppelkegel durchfallen?

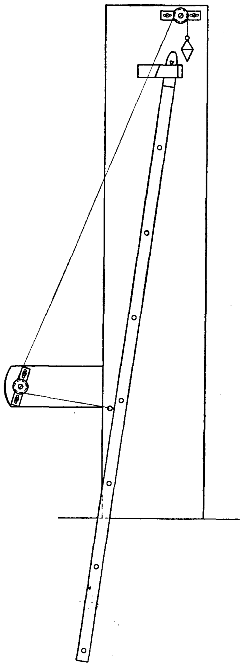

Fig. 119.

b) Welchen Teil der vollen Schwingungsdauer des Pendels bildet die Fallzeit? Befestige am Brett hinter der Pendelstange ein Blatt Papier, auf dem ein lotrechter Strich gezogen ist, und prüfe, ob das Pendel frei schwingt. Bestimme die Zeit, in der das Pendel 50 volle Schwingungen ausführt, und berechne daraus die Schwingungsdauer τ.

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Pendel Nr. . . .

H cm	h cm	$H-h$	Schwingungszeit t sek	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungsdauer $\tau = t/N$	$\frac{(^1/_4\,\tau)^2}{H-h}$
				Mittel	. . . .	. . . . .

d) Setze Bleizylinder in die Löcher des Stabes und ändere so die Schwingungsdauer des Pendels. Wiederhole jedesmal die Messungen und Rechnungen (a) bis (c).

e) Trage die Ergebnisse in die obige Tafel ein und stelle sie auch graphisch dar. Setze dabei

$$x = (^1/_4\,\tau)^2 \quad \text{und} \quad y = H - h.$$

f) Bilde den Mittelwert aus $(^1/_4\,\tau)^2 : (H - h)$ und berechne daraus

$$g = 2\frac{H - h}{(^1/_4\,\tau)^2}.$$

Bemerkungen. Die sinnreiche Pendelvorrichtung rührt von Whiting her; sie wurde von S. Whalley verbessert und von H. Abraham *(1, 96 Nr. 58)* verschlechtert. Die hier angegebene Form wird in den Nottingham Science Schools benutzt. Sie hat folgende Einrichtung: Ein Brett von 1 m Höhe, woran eine wagerechte Leiste sitzt, ist an ein Grundbrett geschraubt und außerdem durch eine Strebeleiste damit verbunden (Fig. 119). An das Gestell ist nahe bei der oberen Kante ein kleines Brett aus hartem Holz angeschraubt, in das ein Schlitz eingeschnitten ist. Auf diesem Lager ruht die Schneide eines Pendels. Dies besteht aus einem Holzstab, der $\sim$ 1,20 m lang ist und einen quadratischen Querschnitt (2,5 cm $\times$ 2,5 cm) hat. Der Pendelstab ist oben so verjüngt, daß er frei in dem Lagerschlitz schwingen kann. Rechtwinklig zur Schwingungsebene sind 7 Löcher durch den Stab gebohrt, in die man Bleizylinder einsetzen kann, um die Schwingungsdauer zu ändern. Der Fallkörper, der die Gestalt eines Doppelkegels hat, ist aus Messing und $\sim$ 80 gr schwer. Er hängt an einem Seidenfaden, der wie in der Figur über zwei leichte Rollen geführt ist. Die Rollenscheiben sind aus Buchsbaumholz gefertigt und sitzen auf Glasröhren, durch die Stahlstifte mit großen Köpfen gesteckt sind. Man kann auch Messingrollen verwenden. Die Achse der oberen Rolle sitzt auf einem geschlitzten Blech, das man wagerecht verschieben kann. Die untere Rolle, deren Blech ebenfalls verschiebbar ist, kann man auch durch einen runden Stift ersetzen. Die Vorderseite des Pendelstabes, d. h. die dem Fallkörper zugekehrte Seite, ist schwarz poliert; auf der Rückseite des Stabes ist zur Befestigung des Fadens eine Ringschraube angebracht.

Um die Schlagmarken sichtbar zu machen, kann man die polierte Seite des Pendels mit Bärlappsamen bestäuben oder auch den scharfen Mittelrand des Fallkörpers mit einem schwarzen Fett oder mit Buchdruckerschwärze einreiben und auf den unteren Teil des Pendelstabes weißes Papier heften. Man kann auch die Vorderseite des Pendelstabes mit Paraffin überziehen oder mit berußtem Papier bekleiden.

Die Ergebnisse sind mit einem Fehler von 2 bis 3 v. H. behaftet. Bessere Ergebnisse erhält man mit schwingenden Federn oder Stimmgabeln, die ihre Schwingungen auf fallende Platten aufschreiben. Man kann aber auch die Schreibplatten fest aufstellen und die schwingenden Federn oder Gabeln daran vorbei fallen lassen. Doch ist nach meiner Meinung die Ausführung dieser feineren Messungen für die Schüler zu schwierig und auch zu zeitraubend. Es ist schwerlich ratsam, bei Schülerübungen elektrische Auslösungen und Markierungen anzuwenden.

III. Wurfbewegung.

Vorbemerkung. „Wenn sich ein Körper ohne jeden Widerstand wagerecht bewegt, so ist . . . bekannt, daß diese Bewegung gleichförmig ist und auf einer unendlichen Ebene unaufhörlich fortbesteht.

Ist diese Ebene hingegen begrenzt und ist der Körper schwer, so wird er, am Ende der wagerechten Ebene angelangt, sich weiter bewegen, und zu seiner gleichförmigen unzerstörbaren Bewegung gesellt sich die durch die Schwere erzeugte, so daß eine zusammengesetzte Bewegung entsteht, die ich Wurfbewegung nenne, und die aus der gleichförmigen wagerechten und aus der gleichförmig beschleunigten zusammengesetzt ist.“ GALILEO GALILEI, *Unterredungen, a. a. O. 24, 80. Beharrungsgesetz. Unabhängigkeitsgesetz.*

GALILEI hat mit diesen Gesetzen durch geometrische Betrachtungen den Satz abgeleitet: „Ein Körper, der einer gleichförmig wagerechten und zugleich einer gleichförmig beschleunigten Bewegung unterworfen ist, beschreibt eine Halbparabel.“

Bewegt sich ein Körper mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit c in der Richtung der wagerechten x-Achse und fällt er zugleich frei in der Richtung der lotrechten y-Achse, so ist, wenn t die Zeit, vom Beginn des wagerechten Wurfes ab gemessen, und g die Fallbeschleunigung bezeichnet, $x = ct$ und $y = {}^1/_2\, g t^2$ und mithin

$$x^2 = 2 \frac{c^2}{g} y,$$

d. h. der Körper bewegt sich auf einer Halbparabel, deren Parameter $2c^2/g$ und deren Achse vom Anfangspunkt der Wurfbewegung aus lotrecht nach unten gerichtet ist.

3. Aufgabe. *Prüfe durch Versuche die Richtigkeit von Galileis Satz über die Bahn eines wagerecht geworfenen Körpers.*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.

Fallrinnen von 1 m und von 28 cm Länge (vgl. S. 142).	Reißnägel.
Lagerkugel von 1,25 bis 2 cm Durchmesser.	Bleistift.
Auslöser (vgl. S. 143).	Lot.
Auffangekasten mit Watte.	Reißschiene.
Reißbrett.	Winkel.
Zeichenbogen, Millimeterpapier.	Meterstab.
	Schublehre.
	Gestelle.

Anleitung. a) Stelle am Tischrand AB (Fig. 120) die große Fallrinne geneigt auf und füge möglichst stoßfrei die kleine Rinne so daran, daß ihr freies Ende D mit der Tischkante abschneidet. Miß mit der Schublehre den Durchmesser der Kugel. Hefte auf das Reißbrett einen Zeichenbogen so, daß dessen einer Rand EF mit der vorderen Kante des Reißbrettes abschneidet. Ziehe auf dem Bogen die Wagerechte GH. Stelle das Reißbrett lotrecht und parallel der Tischkante AB so auf, daß die Gerade HG in der wagerechten Ebene liegt, die durch die Mitte der Kugel geht, wenn diese über dem

Punkt D steht. Die Zeichenfläche des Reißbrettes muß so weit hinter der wagerechten Fallrinne liegen, daß die Kugel dicht am Papierbogen vorbeifliegt, ohne ihn jedoch zu streifen. Stelle bei einer markierten Stelle C der langen Rinne den Auslöser auf und lege damit die Kugel fest. Den Auslöser darf man während der ganzen Versuchsreihe nicht von seiner Stelle rücken. Halte den Maßstab lotrecht so, daß die Kugel bei ihrer Bewegung ganz dicht

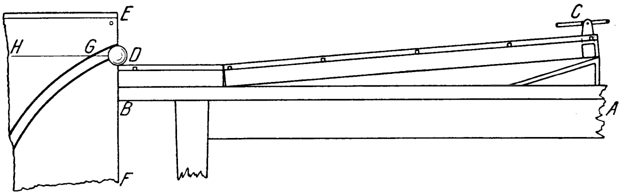

Fig. 120.

an seinem untersten Teilstrich vorüberfliegt, ohne ihn jedoch zu berühren, und bestimme so einen Punkt der Wurfbahn.

b) Laß stets die Kugel von derselben Stelle C der langen Rinne hinabrollen und markiere auf die angegebene Weise $\sim$ 15 Punkte auf dem Zeichenbogen. Ziehe durch die so erhaltenen Punkte eine Kurve. Vergrößere die Ordinaten aller Punkte um den Halbmesser der Kugel. Die so bestimmte Kurve ist die Bahn der Kugelmitte.

c) Markiere auf der Abszissenachse GH eine Reihe von Punkten in je 2 cm Abstand. Zeichne und miß die zugehörigen Ordinaten. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

x cm	y cm	$\frac{2y}{x^2}$
	Mittel	. . . .

d) Berechne die Werte $2y/x^2$ und nimm daraus das Mittel. Wie groß ist die wagerechte Geschwindigkeit c der Kugel? Bestimme den Brennpunkt und den Parameter der Parabel.

2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Vorbemerkung. Läßt man die Kugel, der man in der Richtung der wagerechten x-Achse die Geschwindigkeit c erteilt hat, nicht frei hinabfallen, sondern auf einer schiefen Ebene vom Neigungswinkel α hinabrollen, so ist $x = ct$ und $y = {}^1/_2\, g t^2 \sin\alpha$ und mithin

$$x^2 = 2\,\frac{c^2}{g \sin\alpha}\, y$$

die Gleichung der Bahn.

Geräte.

Reißbrett oder Glasplatte.	Winkel.
PACKARDS Fallrinne (vgl. S. 151).	Millimeterpapier.
Lagerkugel von 2,5 cm Durchmesser.	Kohlepapier.
Reißschiene.	Reißnägel.
	Meterstab.
	Holzkeil oder Holzklotz.

Anleitung. **e)** Gib dem Reißbrett eine schwache Neigung ($\alpha = 15^0$). Setze die Fallrinne so auf das Reißbrett, daß die untere Rinnenkante der oberen Brettkante parallel läuft (Fig. 121). Hefte ein Blatt Millimeterpapier so daneben, daß dessen Linien den Kanten des Brettes parallel laufen, und lege ein Blatt weiches Kohlepapier darüber. Markiere darauf das Ende der Fallrinne. Laß die Kugel erst

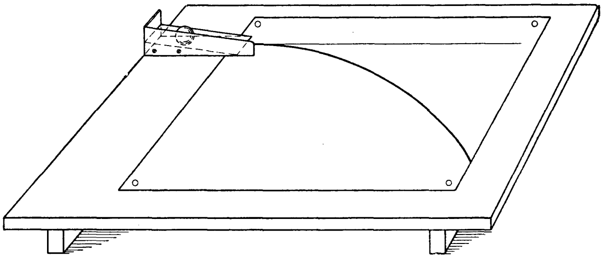

Fig. 121.

die Fallrinne und dann das Reißbrett hinabrollen. Sie schreibt ihre Bahn auf das Millimeterpapier auf.

f) Nimm das Kohlepapier und die Fallrinne weg und zeichne mit einem Bleistift die Spur der Kugelbahn nach. Ziehe oben durch den Anfangspunkt der Bahn mit der Reißschiene die wagerechte x-Achse und senkrecht dazu die y-Achse. Miß für $\sim$ 20 Punkte der Bahn, die nicht zu nahe beim Anfangspunkt liegen, die Abszissen und Ordinaten und trage sie wie bei (c) in eine Tafel ein.

g) Berechne die Werte $2y/x^2$ und nimm daraus das Mittel. Miß die Länge und die Höhen des Reißbrettes und bestimme so seinen Neigungswinkel α. Berechne hieraus und aus dem Mittelwert von $2y/x^2$ den Wert der Anfangsgeschwindigkeit c der Kugel. Bestimme den Brennpunkt und den Parameter der Bahn. Leite aus der Bahn ähnlich wie bei Aufgabe 1 (ee) und (ff) S. 142 die Geschwindigkeitskurve und die Beschleunigungskurve ab.

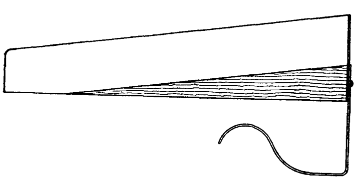

Fig. 122.

Bemerkungen. Hat man Wandbretter, so ist es beim ersten Verfahren bequemer, den Zeichenbogen darauf zu heften und eine Fallrinne zu benutzen, die die Gestalt einer Halbzykloide und eine Höhe von $\sim$ 30 cm hat. Die Rinne schraubt man am Wandbrett fest und stellt sie mit einem Lot ein. Vgl. MILLER *79 Nr. 63.*

Das hübsche zweite Verfahren rührt von J. C. Packard her *(Report of the Eastern Association of Physics Teachers, 23. März 1907, p. 32. Scientif. Americ. 96, 96; 1907 = School Science 7, 403; 1907).* Die von mir etwas abgeänderte Fallrinne (Fig. 122) besteht aus einer kurzen schiefen Ebene mit Blechrand, die an eine Messingfeder geschraubt ist und damit am Reißbrett befestigt wird. Als Kohlepapier ist das Schreibmaschinenpapier „Attila" von Honrat, Berlin, Charlottenstr. 62, sehr zu empfehlen.

Das zweite Verfahren ist dem ersten vorzuziehen.

IV. Einfaches Pendel.

4. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Schwingungsweite ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Galileo Galilei, *Unterredungen, a. a. O. 11, 75 und 24, 89.*

Geräte.

Metronom oder Stechuhr.	Schere.
Kugel aus vernickeltem Eisen oder besser aus Blei von 2 cm Durchmesser, mit Öse.	Maßstab.
Pendelaufhängung (vgl. S. 152).	Schublehre.
Dünnes Baumwollegarn.	Bunsengestell.
	Winkel.
	Kreide.

Anleitung. a) Setze das Gestell so an den Rand des Tisches, daß die ganz nach oben geschobene Klemme über den Tischrand hinausragt. Befestige in der Klemme die Pendelaufhängung, binde die Kugel an den Faden und mache diesen so lang, daß die Kugel fast bis zum Boden hinabhängt. Ziehe nun die Schraube der Klemme fest an und sorge dafür, daß sich dabei die Backen der Aufhängung gerade aneinanderlegen. Bringe das Pendel zur Ruhe und ziehe auf dem Boden rechtwinklig zum Tischrand und genau unter der Kugel einen Kreidestrich. Ziehe die Pendelkugel parallel zur Tischkante $\sim$ 15 cm weit zur Seite und laß sie behutsam los, ohne ihr dabei nach irgend einer Richtung einen Stoß zu erteilen. Beobachte die Bewegung. *Schwingungsbewegung. Volle Schwingung. Schwingungsweite.* Ändert sich mit der Zeit die Schwingungsweite?

b) Miß mit Maßstab und Winkel die Fadenlänge, den Abstand des obersten Punktes der Kugelöse vom Aufhängepunkt des Fadens, d. h. der unteren Fläche des Holzstücks. Miß mit der Schublehre den Durchmesser der Kugel und zähle seine Hälfte und die Länge der Öse zur Fadenlänge hinzu. *Pendellänge.*

c) Lege unter der ruhenden Kugel den Maßstab so auf den Boden, daß er senkrecht zum Kreidestrich und die Mitte der Teilung unter dem tiefsten Punkt der Kugel liegt. Setze das Pendel so in Schwingung, daß die Schwingungsweite anfangs 5 cm beträgt. Beobachte das Pendel, ohne die Stellung des Auges zu ändern, und klopfe, sobald die Kugel den Kreidestrich genau mit dem Schlage des Metronoms von links nach rechts kreuzt, scharf auf den Deckel des Notizbuches (nicht auf den Tisch) und sage Null. Zähle beim nächsten Durchgang der Kugel von links nach rechts leise 1 usw. und beobachte so $\sim$ 100 Schwingungen, doch rufe die Zahl 97 laut, um die Aufmerksamkeit des Mitarbeiters zu erregen. Zähle still weiter, bis das Pendel von links nach rechts und genau mit einem Schlage des Metronoms den Kreidestrich kreuzt. Klopfe in demselben Augenblick nochmals scharf auf das Buch. Der Mitarbeiter zählt die Schläge des Metronoms vom ersten bis zum zweiten Klopfen, auch er muß die Zählung mit Null beginnen. Miß wiederum die Schwingungsweite. Schreibe die Anzahl N der Schwingungen, die Anzahl t der Sekunden und die Schwingungsweite am Anfang und am Ende des Versuchs auf. Teile die Anzahl der Sekunden durch die Anzahl der Schwingungen. *Schwingungsdauer.*

d) Bestimme die Schwingungsdauer bei derselben Anfangs-Schwingungsweite nochmals und nimm aus beiden Werten das Mittel. Doch zähle diesmal selbst die Metronomschläge, während der Mitarbeiter die Anzahl der Schwingungen beobachtet.

e) Wiederhole die Versuche (c) und (d) und mache der Reihe nach die Schwingungsweite 10, 15 und 30 cm groß.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:
Durchmesser der Kugel . . . cm. Länge der Öse . . . cm. Fadenlänge . . . cm. Länge des Pendels $l = \ldots$ [cm]. Metronom Nr. . . .

	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$	Mittlere Schwingungsdauer τ sek	Schwingungsweite zu Anfang cm	Schwingungsweite zu Ende cm	Mittlere Schwingungsweite a cm
a					5		
b					5		

g) Hängt bei kleinen Schwingungsweiten, deren Längen nicht größer als der zehnte Teil der Pendellänge sind, die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite ab? *Zeitmessung.*

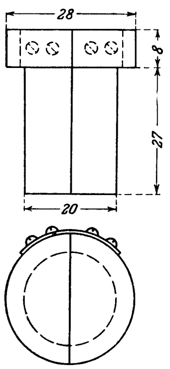

Fig. 123.

Bemerkungen. Hat die Kugel keine Öse, so bindet man drei Schleifen darum, deren Ebenen aufeinander senkrecht stehen, und befestigt die Kreuzungen mit etwas Wachs.

Die Pendelaufhängung (Fig. 123) besteht aus einem Holzstück, das aus zwei Zylindern zusammengesetzt und durch einen Achsenschnitt halbiert ist. Die Hälften sind durch ein kleines Blechgelenk miteinander verbunden. Die Aufhängung spannt man in die Klemme eines Bunsengestells ein und befestigt dadurch den Pendelfaden, der zwischen die beiden Holzbacken gelegt wird.

Mißt man die Zeit mit einem Metronom, so stellt man es so ein, daß es Sekunden schlägt. Benutzt man eine Stechuhr, so setzt man sie in dem Augenblick, wo man Null zählt, in Gang und bringt sie zum Stehen, sobald man Hundert zählt.

Man läßt einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

5. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Masse der schwingenden Kugel ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. GALILEO GALILEI, *Unterredungen a. a. O. 11, 75.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, dazu eine Holzkugel von 2 cm Durchmesser.

Anleitung. a) Hänge an einem 90 bis 100 cm langen Faden die Bleikugel auf und bestimme zweimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer.

b) Wiederhole den Versuch mit der Holzkugel, gib dabei dem Pendelfaden genau die gleiche Länge wie bei Versuch (a) und zähle so viel Schwingungen, wie du kannst. Haben beide Kugeln gleiche oder verschiedene Schwingungsdauern?

Bemerkung. Man lasse einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

6. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge eines Pendels?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. GALILEO GALILEI, *Unterredungen, a. a. O. 11, 84.*

Geräte.

Wie bei Aufgabe 4, dazu Lot.	Holzklötze.
Karton.	Reißnägel.
Millimeterpapier.	Schere.

Anleitung. a) Bestimme wie in Aufgabe 4 (b) bis (d) die Schwingungsdauern von Pendeln, deren Längen 100, 90, 80, 40, 25, 20 und 10 cm sind. Wähle dabei jedesmal die Schwingungsweite kleiner als den zehnten Teil (etwa gleich dem zwanzigsten Teil) der jeweiligen Pendellänge. Bestimme jede Schwingungsdauer dreimal und nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

Benutze diesmal bei der Zählung der Schwingungen als Marke nicht einen Kreidestrich, sondern folgende Einrichtung. Stelle hinter dem Pendelfaden ein Lot oder einen Karton mit lotrechtem Strich auf und vor dem Pendelfaden einen Karton mit einem 3 mm breiten Schlitz. Ist das Pendel in Ruhe, so müssen, wenn man durch den Schlitz sieht, Pendel und Lot oder Strich sich decken.

Zähle, wenn es nötig wird, bei den kurzen Pendeln nicht die Durchgänge durch die Ruhelage, sondern die Umkehren auf der linken Seite.

b) Vergleiche die Schwingungsdauern für die Pendellängen 10 und 40, 20 und 80, 25 und 100 cm und die Schwingungsdauern für die Pendellängen 10 und 90 cm miteinander. Welche Beziehung besteht wohl zwischen der Schwingungsdauer und der Länge des Pendels?

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:
Metronom Nr. . . . Durchmesser der Kugel . . . cm. Länge der Öse . . . cm.

	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$	Mittlere Schwingungsdauer τ	τ^2	Fadenlänge cm	Pendellänge l cm	$\frac{\tau^2}{l}$
a								
b								
c								

d) Berechne τ^2 und τ^2/l. Welche Gleichung besteht also zwischen τ und l?

e) Stelle die Ergebnisse auf Millimeterpapier graphisch dar, setze erst $x = l$ und $y = \tau$ und dann $x = l$ und $y = \tau^2$.

f) Entnimm den Kurven die Länge eines Pendels, das in 2 sek eine volle Schwingung macht. *Sekundenpendel.* Stelle ein Pendel her, das die so gefundene Länge hat, und prüfe, ob es mit dem Metronom gleichen Gang hat.

g) Entnimm aus den Kurven die Schwingungsdauer eines Pendels, das 60 cm lang ist. Stelle ein solches Pendel her und prüfe, ob es die so gefundene Schwingungsdauer hat.

Bemerkungen. Zur Vermeidung der Parallaxe kann man bei den Längenmessungen kleine Spiegel verwenden, noch zweckmäßiger sind Spiegelmaßstäbe.

Man kann auch mit zwei Pendeln arbeiten, die Länge des einen so ändern, daß es in einer Sekunde erst zwei-, dann dreimal soviel Schwingungen macht als das andere, und durch Vergleichung der Pendellängen die Abhängigkeit zwischen Pendellänge und Schwingungsdauer finden.

Über die Bestimmung von g mit einem Fadenpendel vgl. Kohlrausch[10] *132 Nr. 35.*

Man lasse einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

V. Kraft und Masse.

7. Aufgabe. *Kann man die Größe einer Kraft durch Messung von Masse, Länge und Zeit bestimmen?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Duncan *160.*

Geräte. 2 Rollen,
2 Aufhängebügel.
2 Keile.
Angelschnur.
2 leichte Gewichtschalen.
Maßstab.
Gewichtsatz.
Stechuhr.

Anleitung. **a)** Befestige die Rollen mit zwei Bügeln an einem Galgen und keile die Bügel fest.

b) Bestimme die Massen der beiden Wageschalen und lege dann so viel Schrot hinein, daß beide Massen gleich m_0 gr werden.

c) Lege in jede der Schalen A und B (Fig. 124) die Masse $m_1 =$ 500 [gr]. Tritt eine Bewegung ein? Ziehe etwas an der Schnur. Warum hört die Bewegung bald wieder auf?

d) Lege in der Schale B die kleinste Masse m_2 gr hinzu, die nach schwachem Ziehen an der Schnur eine gleichförmige Bewegung nach unten hervorruft. Welchen Widerstand überwindet die bewegende Kraft noch eben? *Reibungswiderstand.*

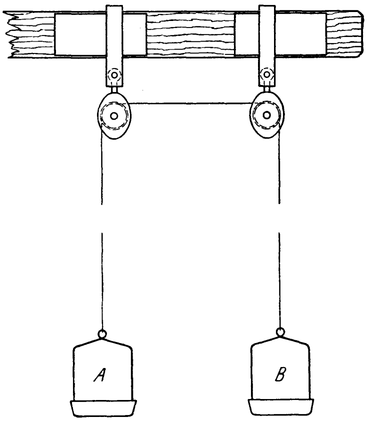

Fig. 124.

e) Füge in der Schale B eine weitere Masse m_3 gr ($\sim$ 25 gr) hinzu, die durch ihr Gewicht ($m_3 g$ Dyne) eine beschleunigte Bewegung erzeugt.

f) Ziehe die Schale B bis zu der größten möglichen Höhe über dem Fußboden empor und miß diese Höhe (h cm). Laß die Schale los und miß mit der Stechuhr die Zeit (t sek) des Herabsinkens.

g) Berechne aus h und t die Beschleunigung b cm/sek². $b = 2\,h/t^2$.

h) Welche Massen wurden bewegt? Sieh bei der Antwort von den Massen der Rollen und der Schnur ab.

$$m = (2\,m_0 + 2\,m_1 + m_2 + m_3) \text{ [gr]}.$$

i) Welche Kraft erteilt der Masse m die Beschleunigung b? $F = mb$ [Dyne].

k) Welches Gewicht hat die beschleunigte Bewegung bewirkt? $F' = m_3 g$ [Dyne]. Vergleiche F mit F'.

l) Wiederhole den Versuch mit anderen Massen in den Schalen und mit anderen Zulagen.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Masse der Schale Nr. . . . $m' =$ . . . [gr]
Masse der Schale Nr. . . . $m'' =$ . . . [gr]
Ausgeglichene Masse der Schalen $m_0 =$ . . . [gr]

Massen in den Schalen m_1 gr	Massenzulagen: zur Überwindung der Reibung m_2 gr	Massenzulagen: zur Erzeugung d. beschleun. Bewegung m_3 gr	Bewegte Masse m gr	Falltiefe h cm	Beschleunigung $b = 2\,h/t^2$ [cm/sek²]	Bewegende Kraft in Dyne: $F = mb$	Bewegende Kraft in Dyne: $F' = m_3 g$	Unterschied $F - F'$
							Mittel	. . . .

n) Bestätigt die Erfahrung die Beziehung $F = mb$?

2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. WHITING *334 Nr. 60.*

Geräte.

Drillring (vgl. S. 158).	Bunsengestell.
Schraubzwinge mit Feilkloben.	Metronom.
Federharter Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Maßstab.
Beißzange.	Schublehre.
Markiervorrichtung (Nadel in einem Kork) oder Sehrohr.	Wage.
	Gewichtsatz.
	Stelltisch.
	Feder oder Pinsel.

Anleitung. o) Nimm von den Haken des Ringes die Eisendrähte ab und wäge den Ring.

p) Miß den äußeren Durchmesser d und die Dicke δ des Ringes.

q) Befestige die Zwinge so am Wandgalgen, daß die Backen des Feilklobens lotrecht stehen (Fig. 125). Schneide von dem Messingdraht ein Stück ab, das mindestens 1 m lang ist. Klemme das obere Ende des Drahtes fest zwischen die Backen des Klobens und das untere Ende in die Klemmschraube der Ringaufhängung, so daß der Ring wagerecht dicht über der Tischplatte hängt.

r) Stelle die Markiernadel dicht vor den Nullstrich der Ringteilung oder richte das Sehrohr auf eine gut beleuchtete Stelle der Skale, drehe den Ring um nahezu 360⁰ und laß ihn los. Hemme, falls dies erforderlich ist, die Pendel-

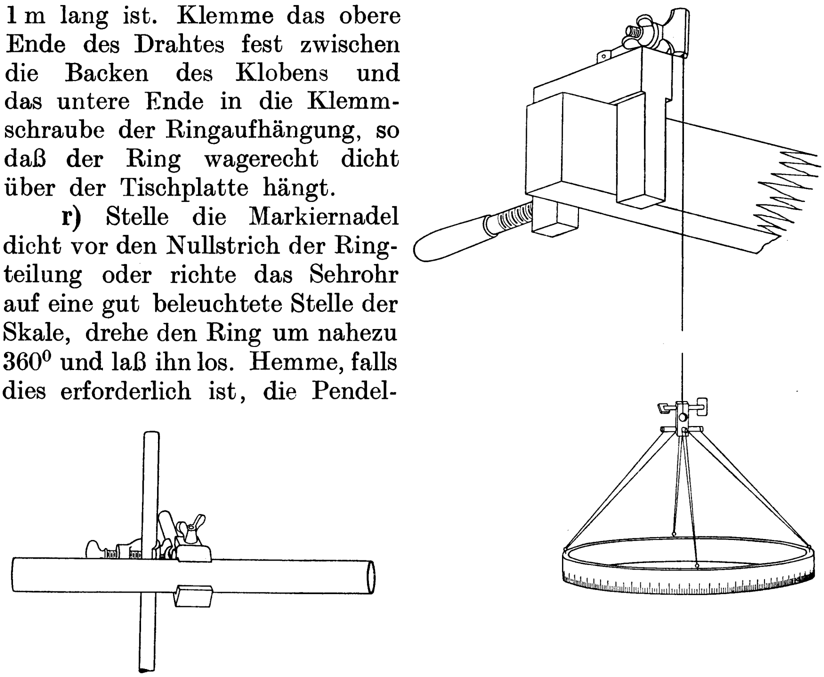

Fig. 125.

schwingungen durch Berühren des langen Aufhängedrahtes mit einer Feder oder einem Pinsel. Der Ring macht dann nur noch reine Drillschwingungen.

s) Stelle das Laufgewicht des Metronoms so, daß es Sekunden schlägt, und lies, wenn sich der Ring einer Umkehr nähert, in Zwischenzeiten von 2 Sekunden die Teilstriche ab, die mit dem Metronomschlag an der Markiernadel oder dem Draht des Sehrohrs vorübergehen. Mache $\sim$ 6 Beobachtungen.

t) Wiederhole die Messungen (s) mehrmals.

u) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Ring Nr. . . .
Masse des Ringes $m = . . .$ [gr].
Äußerer Durchmesser des Ringes $d = . . .$ [cm].
Dicke des Ringes $\delta = . . .$ [cm].
Äußerer Halbmesser des Ringes $r_1 = {}^1/_2\, d = . . .$ [cm].
Mittlerer Halbmesser des Ringes $r = r_1 - {}^1/_2\, \delta = . . .$ [cm].
. . . . Draht.
Länge des Drahtes $= . . .$ [cm].
Durchmesser des Drahtes $= . . .$ [cm].

Teilstrich s_ν, der sich mit der Markiernadel deckt	In 2 Sekunden vorübergegangene Bogenlänge $\Delta s_\nu = s_{\nu+1} - s_\nu$	Mittlere Geschwindigkeit $v_\nu = {}^1/_2\, \Delta s_\nu$	Änderung der Geschwindigkeit während 2 Sekunden $\Delta v_\nu = v_{\nu+1} - v_\nu$	Beschleunigung $\beta = {}^1/_2\, \Delta v_\nu$
			Mittel	. . . .

v) Berechne aus den Teilstrichen, die in Zwischenzeiten von je 2 Sekunden an der Markiernadel vorübergegangen sind, die in Zentimeter gemessene Bogenlänge, um die sich der äußere Ringmantel während dieser Zeit gedreht hat, und daraus die in cm/sek gemessene mittlere Geschwindigkeit während dieser 2 Sekunden. Bezeichne dabei, wenn sich der Ring von seiner Gleichgewichtslage wegdreht, die Geschwindigkeit als positiv und bei entgegengesetztem Drehungssinn als negativ. Berechne ferner die Änderung der mittleren Geschwindigkeit während 2 Sekunden und daraus die in cm/sek^2 gemessene Beschleunigung. Nimm das Mittel aus den so erhaltenen Werten der Beschleunigung β. Dieser Mittelwert stellt die Beschleunigung am äußeren Mantel des Ringes dar. Für den mittleren Halbmesser r des Ringes ist die mittlere Beschleunigung des ganzen Ringes $b = r\beta / r_1$.

w) Berechne aus der Masse m des Ringes und der Beschleunigung b die in Dyne gemessene Kraft F, die der Draht auf den Ring ausübt.

x) Ermittele bei den Versuchsreihen (s) und (t) jedesmal den mittleren Teilstrich. Dieser Mittelwert liefert den in Zentimeter gemessenen mittleren Ausschlag a des äußeren Ringmantels. Berechne daraus und aus dem äußeren Halbmesser r_1 des Ringes den in Grad gemessenen mittleren Ausschlag φ des Ringes. $\varphi = a \cdot 180^0 / r_1 \pi$. Wie groß ist also die Kraft, die der Messingdraht, wenn er um $\varphi = \ldots^0$ gedreht wird, in der Entfernung $r = \ldots$ [cm] von seiner Achse auf einen Körper von der Masse $m = \ldots$ [gr] ausübt?

y) Wie groß ist das Drehmoment, das der Draht auf den Ring ausübt? $P = Fr$ [Dyne · cm].

z) Wie groß ist das Drehmoment des Ringes bei einer Drehung um 1^0?

Bemerkungen. Beim ersten Verfahren achte man darauf, daß die Schneiden der Keile der Zugrichtung entgegengesetzt sind.

Der Drillring aus Eisen oder Messing von 20,5 cm äußerem Durchmesser, 0,5 cm Dicke und 2 cm Höhe trägt an vier Punkten seines oberen Innenrandes Haken, die gleichweit voneinander abstehen. Von jedem Haken führen, wie Fig. 125 zeigt, zwei 15 cm lange Eisendrähte von 0,25 mm Durchmesser nach je einem Querstab von 1 cm Länge, der an einer Messinghülse sitzt. Die Eisendrähte sind an die Stäbe angeschraubt. Anstatt der vier Querstäbe kann man auch eine Scheibe anbringen lassen. In die Hülse wird mit zwei Schrauben der 0,25 mm starke Drilldraht aus federhartem Messing eingeklemmt. Auf dem äußeren Umfang des Ringes ist eine Millimeterteilung aufgeklebt, deren Zentimeter beziffert sind.

Das Sehrohr ist eine innen schwarze Papprohre von 30 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, die am einen Ende mit einem dünnen Blechstreifen und am anderen Ende mit einem Sehloch von 6 mm Durchmesser versehen ist.

Eine Prüfung der vorhandenen zahlreichen Fallmaschinen für Schülerübungen und der vielleicht erforderliche Bau einer neuen Maschine konnte bis jetzt in der Alten Urania nicht ausgeführt werden, da die vorhandenen Mittel für dringendere Aufgaben verwendet werden mußten; doch wird die Sache möglichst bald in Angriff genommen werden. Der Apparat von Fletscher bedarf noch der weiteren Vervollkommnung. Der in Amerika übliche „*Acceleration Test*“ scheint für Schülerübungen wenig geeignet zu sein.

VI. Antrieb und Bewegungsgröße.

8. Aufgabe. *Hängt die Geschwindigkeit, womit die Pendelkugel durch die Gleichgewichtslage geht, von der Schwingungsweite ab?*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Hall, *Descript. List 50.*

Geräte. 2 Pendelkugeln (vgl. S. 151). 2 Pendelaufhängungen (vgl. S. 152). Garn. Schere. | Holzklötze (15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 2,5 cm). Meterstab. 2 Bunsengestelle.

Anleitung. a) Stelle zwei Pendel her, deren Längen gleich und möglichst groß sind. Ordne sie so an, daß die Kugeln in der Gleichgewichtslage einen Abstand von $\sim$ 4 cm haben. Lege den Meterstab so zwischen die Kugeln, daß die Teilung senkrecht zu der Geraden steht, die die Mitten der Kugeln verbindet. Ziehe die eine Kugel P_1 (Fig. 126) um $a_1 = 60$ [cm] und die andere Kugel P_2 um $a_2 = 30$ [cm] seitwärts, und zwar beide nach derselben Seite; miß dabei die Ausweichungen auf dem Meterstab ab. Stelle zwei Klötze K_1 und K_2 so auf, daß die Kugeln dagegen stoßen, sobald sie den dritten Teil (d_1 und d_2) ihrer wagerechten Abstände (a_1 und a_2) von der Gleichgewichtslage zurückgelegt haben.

b) Laß gleichzeitig beide Kugeln los und beobachte sehr aufmerksam das Anschlagen der Kugeln. Treffen beide gleichzeitig die Klötze?

c) Mache nun $d_1 = {}^1/_2\, a_1$ und $d_2 = {}^1/_2\, a_2$ und dann $d_1 = {}^2/_3\, a_1$ und $d_2 = {}^2/_3\, a_2$ und wiederhole die Beobachtung (b).

d) Vergleiche für jeden Zeitpunkt das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Kugeln mit dem Verhältnis der wagerechten Komponenten der Bahnen, worauf sich die Kugeln bewegen. Wie verhalten sich also die Geschwindigkeiten, mit denen eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage geht, zu den Schwingungsweiten?

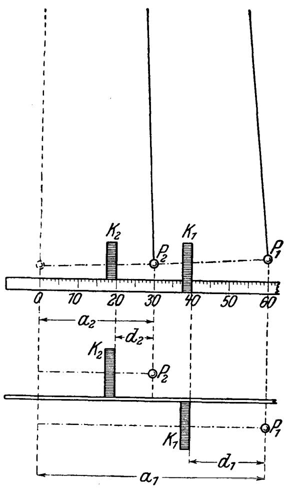

Fig. 126.

Bemerkungen. Die Schlußreihe ist in Wirklichkeit nur zulässig, wenn die Ausschläge kleiner als 20° sind.

Man kann auch die beiden Aufhängefäden zwischen zwei Holzbrettchen klemmen, die man zwischen die Backen der Feilkloben einspannt. Die Zwingen, woran die Kloben sitzen, schraubt man an den Wandgalgen fest.

Vgl. O. Reichel, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 2, 265; 1889.*

9. Aufgabe. *Wie ändern sich beim Zusammenstoßen zweier Kugeln ihre Bewegungsgrößen?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Hall, *Descript. List 51 Nr. 37, 38 u. 87 Nr. 79.*

Geräte.

Elfenbeinkugel von 50 gr mit Öse.	Hakenstifte.
Elfenbeinkugel von 150 bis 200 gr mit Öse.	Hammer.
Aufhängebrett (vgl. S. 162).	Bindfaden.
Sehr dünner blanker Kupferdraht, der eine Belastung von 400 gr* aushält.	Zwinge.
Grundbrett (vgl. S. 162).	Glaserkitt oder Klebwachs.
Beißzange.	Holzkeile.
	Wage.
	Gewichtsatz.

Anleitung. **a)** Wäge beide Kugeln. Die Masse der großen Kugel sei M und die der kleinen m gr. Hänge mit Kupferdraht beide Kugeln am Aufhängebrett auf und lege die Drähte in die Schlitze S und S_1 des Brettes (Fig. 127). Setze in $\sim$ 50 cm Abstand die Auslöser auf das Grundbrett und richte es so aus, daß die beiden Aufhängedrähte in der Sehlinie liegen, die durch die Mittellinien der Auslöserschlitze bestimmt wird (Fig. 128). Ändere durch Drehen der Aufhängewirbel die Längen der Drähte derart, daß die Verbindungslinie der Kugelmitten parallel dem Grundbrett und $\sim$ 4 cm über dem Maßstab und der Berührungspunkt beider Kugeln genau über dem Teilstrich 50 cm liegen. Befestige das sorgfältig ausgerichtete Grundbrett mit Haken, Zwingen oder dgl.

b) Nach Aufgabe 8 ist die Geschwindigkeit, womit sich eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage bewegt, ihrer Schwingungsweite proportional. Wir wollen beide Kugeln gegeneinander stoßen lassen. Der Weg, den die Mitte von M vor dem Stoß zurücklegt, sei A_1 und der Weg der Mitte von m vor dem Stoß a_1. Der Weg,

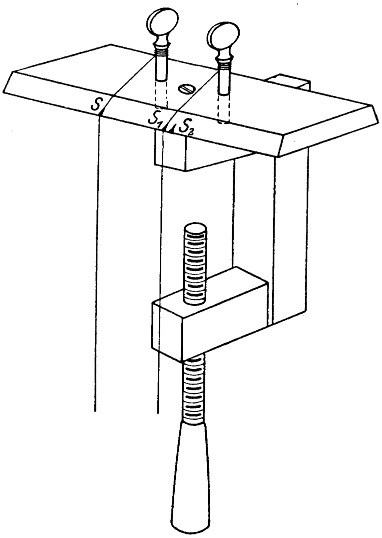

Fig. 127.

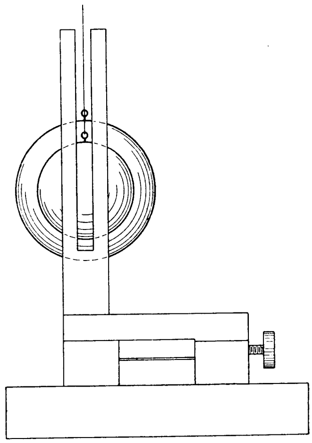

Fig. 128.

den die Mitte von M nach dem Stoß zurücklegt, sei A_2 und der Weg der Mitte von m nach dem Stoß a_2. Alle Wege im Sinn der wachsenden Zahlen auf dem Maßstab rechnen wir als positiv und die entgegengesetzten Wege als negativ. Man mißt den Weg jeder Kugelmitte, indem man den wagerechten Weg der Stelle auf der Kugelfläche bestimmt, die bei der Gleichgewichtslage die andere Kugel berührte. Die Umkehrstelle bestimmt man mit einem Holzkeil, der auf seinem Rücken steht und längs dem Grundbrett verschoben wird. Mache jedesmal fünf Messungen, zähle aber dabei die Vorversuche nicht mit.

c) Laß die große Kugel in der Gleichgewichtslage hängen. Es ist also $A_1 = 0$. Mache $a_1 = 30$ cm, d. h. stelle den Auslöser so auf, daß sich die kleine Kugel nach dem Loslassen wagerecht 30 cm weit zu bewegen hat, ehe sie gegen die große Kugel stößt. Klappe, sobald die große Kugel ganz ruhig hängt, den Auslöser vor der kleinen Kugel plötzlich abwärts, ohne jedoch dabei irgend eine Erschütterung zu erregen. Miß die wagerechte Strecke A_2 cm, die die große Kugel infolge des Stoßes zurücklegt, und die wagerechte Strecke a_2, um die die kleine Kugel infolge des Stoßes zurückspringt.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:
Aufhängebrett Nr. . . . Grundbrett Nr. . . . Große Elfenbeinkugel Nr. . . . Kleine Elfenbeinkugel Nr. . . . $M = \ldots$ [gr]. $m = \ldots$ [gr].

Große Kugel M			Kleine Kugel m				
Gleichgewichtslage cm	Umkehrpunkt nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß A_2 cm	Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsweite vor dem Stoß a_1 cm	Umkehrpunkt nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß a_2 cm

e) Berechne die Mittelwerte von A_2, a_1 und a_2 und daraus die Produkte MA_2, ma_1 und ma_2, die den Bewegungsgrößen proportional sind. Welche Beziehung besteht zwischen diesen drei Größen?

f) Mache $A_1 = 20$ cm und $a_1 = 0$, miß A_2 und a_2 und berechne für jede Kugel die Bewegungsgröße vor und nach dem Stoß. Verfahre dabei sinngemäß wie bei (b) bis (e). Suche eine Beziehung zwischen den Bewegungsgrößen aufzustellen.

g) Wie wirkt der Luftwiderstand auf die Bewegung der Kugeln ein? Als Maß für die Geschwindigkeit vor dem Stoß dient die Schwingungsweite vor dem Stoß und als Maß für die Geschwindigkeit nach dem Stoß die Schwingungsweite nach dem Stoß. Welche Weite ist zu groß und welche zu klein?

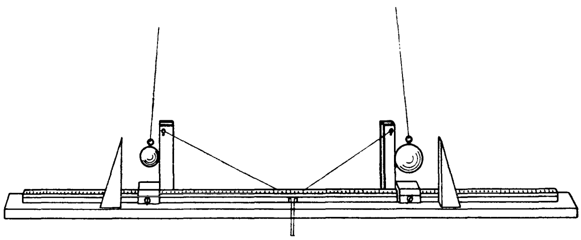

Fig. 129.

h) Mache $A_1 = 20$ cm und $a_1 = 25$ cm. Löse gleichzeitig beide Kugeln aus. Das Auslösen muß ein Schüler allein ausführen. Binde an die Ösen an den Zinken der beiden Auslöser die Enden eines Fadens und führe dessen Mitte durch eine Durchbohrung oder eine Ringschraube, die in der Mitte des Grundbrettes angebracht ist (Fig. 129). Ziehe, sobald alle Einstellungen ausgeführt sind, plötzlich an der Mitte des Fadens, ohne dabei das Grundbrett irgendwie zu verschieben. Verfahre wie bei den Versuchen (b) bis (e), doch gib der Tafel folgende Einrichtung.

Große Kugel M					Kleine Kugel m				
Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsweite vor dem Stoß A_1 cm	Stellung nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß A_2 cm	Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsweite vor dem Stoß a_1 cm	Stellung nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß a_2 cm

i) Welche Sätze über die Bewegungsgröße lassen sich beim Stoß elastischer Körper aufstellen?

k) Hänge die Drähte in die Schlitze S und S_2 des Aufhängebrettes. Lege um die kleinere Kugel einen Ring aus Glaserkitt oder Klebwachs, der $\sim$ 1 cm breit und 0,3 cm dick ist, so daß dieser Gürtel die große Kugel eben berührt, wenn sich beide Kugeln in der Gleichgewichtslage befinden. Mache $A_1 = 30$ cm und $a_1 = 0$. Bestimme A_2 und a_2 und verfahre wie bei (b) bis (e). Hier ist m die Masse der kleinen Kugel, vermehrt um die Masse des Ringes.

l) Welche Sätze über die Bewegungsgröße lassen sich beim Stoß unelastischer Körper aufstellen?

Bemerkungen. Das Aufhängebrett (Fig. 127) ist $\sim$ 20 cm lang, 6 cm breit und 1 cm dick. Die Vorderfläche, von der die Pendeldrähte herabhangen, ist abgeschrägt und an der unteren Kante mit drei schmalen Einschnitten S, S_1 und S_2 versehen. Der Abstand von S und S_1 ist gleich der Summe der Kugelhalbmesser und der Abstand $S_1 S_2$ gleich 0,3 cm. Das Aufhängebrett, das auf einer Schraubzwinge sitzt, befestigt man möglichst hoch, etwa an einem Wandgalgen. Die Kugeln sind aus Elfenbein, Glas oder Stahl (Lagerkugeln). Da das Aufhängebrett und die Kugeln aneinander angepaßt sind, so muß man diese Gegenstände einheitlich markieren.

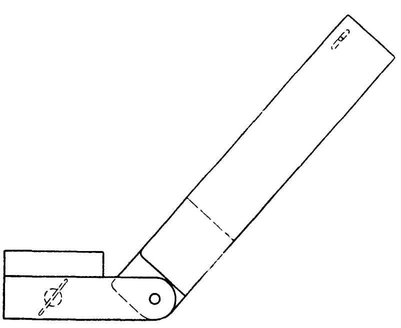

Fig. 130.

Das Grundbrett ist 1 m lang; auf seine obere Seite ist ein Meterstab geschraubt. Der Stab dient zwei Auslösern als Führung. Jeder Auslöser besteht aus einem Schlitten, der am Stabe festgeschraubt werden kann, und aus einem geschlitzten Stab, der am Schlitten drehbar befestigt ist (Fig. 130). Die durch die Schlitze festgelegte Sehlinie soll parallel zum Maßstab liegen. Hinter dem mittleren Teilstrich des Stabes ist ein Loch durch das Grundbrett gebohrt und davor eine Ringschraube angebracht. Ist der Abstand von Grundbrett und Aufhängung $\sim$ 2 m, wie bei allen Maßangaben angenommen worden ist, so genügt ein Grundbrett. Ist der Abstand viel größer, was zwar wünschenswert, doch beschwerlich ist, so muß man, wenn erforderlich, zwei Bretter aneinanderschieben Wenn es nicht anders geht, befestigt man das Grundbrett auf dem Fußboden. Die optische Bank (vgl. Optik, Aufg. 11) kann man als Grundbrett verwenden, wenn ihr Maßstab hinreichend hoch liegt.

Bei den Berechnungen wurden die Massen der Aufhängedrähte nicht berücksichtigt. Will man sie in Betracht ziehen, so hat man zu der Masse jeder Kugel die Hälfte der Masse ihres Aufhängedrahtes hinzuzufügen.

Bei Versuch (k) kleben die Kugeln nach dem Stoß zusammen. Das hat wenig zu sagen; will man es verhindern, so bedecke man den Kitt oder das Wachs an der Stoßstelle mit einem Stückchen Papier.

Zumeist verwendet man bei den Stoßversuchen bifilare Aufhängungen; hierbei ist jedoch das scharfe Einstellen schwieriger als bei den Pendeln mit einem Faden. Aus diesem Grunde bin ich der Versuchsanordnung von E. H. Hall gefolgt.

Es sei noch einmal ausdrücklich hervorgehoben, daß bei diesen Versuchen nicht die Geschwindigkeit v, sondern die wagerechte Komponente a der Schwingungsweite gemessen wird, wobei angenähert $v = ka$ ist und k eine Konstante bezeichnet. Man berechnet also nicht den Wert der Bewegungsgröße mv, sondern die proportionale Größe ma. Die Abweichung zwischen $\frac{1}{2}mv^2$ und $\frac{1}{2}ma^2$ ist so groß, daß man mit der benutzten Vorrichtung die Gesetze über die Wuchten der aufeinanderstoßenden Körper nicht ableiten kann.

Von den andern Vorrichtungen für Stoßversuche seien hervorgehoben: Allen *177 Nr. 8, 221, 249.* Ames-Bliss *85 Nr. 14 u. 15,* Eggar *82 Nr. 52.* Kelsey *63 Nr. 14.* Millikan *54 Nr. 6.* Watson, *Elem. Pract. Phys. 108 Nr. 85.*

10. Aufgabe. *Bestimme mit der Stoßwage die Masse eines Körpers.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. O. Reichel, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 2, 267; 1889.* R. Heyne, *ebenda 7, 73; 1893.* Hicks, *Elementary Dynamics 24.* W. Watson, *Elem. Pract. Phys. 110 Nr. 86, 113 Nr. 87 u. 235.*

Geräte. Hicks Stoßwage (vgl. S. 164). Zwei 500 gr-Stücke. 1 kg-Stück. 1 Stück Blei von ∼ 750 gr. Wage. Gewichtsatz.

Anleitung. a) Stelle auf jedes Brettchen 500 gr, lies für die Gleichgewichtslage die Stellungen der inneren Ränder der Zeiger ab, ziehe beide Pendel um gleiche Strecken zur Seite und laß sie dann gleichzeitig los. Wo treffen sie sich? Vernichten sich ihre Bewegungen? *Dynamische Definition der Masse.*

b) Fasse beide Brettchen mit den Händen an und ziehe sie behutsam auseinander. Verschiebe das eine Brettchen um 5 cm und das andere um 10 cm. Wo treffen sie sich jetzt? Kommen sie zur Ruhe?

c) Lege auf das rechte Brettchen 1000 gr und verschiebe es jedesmal um 5 cm. Ermittele die Schwingungsweite des linken Brettchens, bei der beide Pendel durch das Zusammenstoßen ihre Geschwindigkeiten gegenseitig vernichten. Berechne die relativen Bewegungsgrößen und trage sie in die folgende Tafel ein.

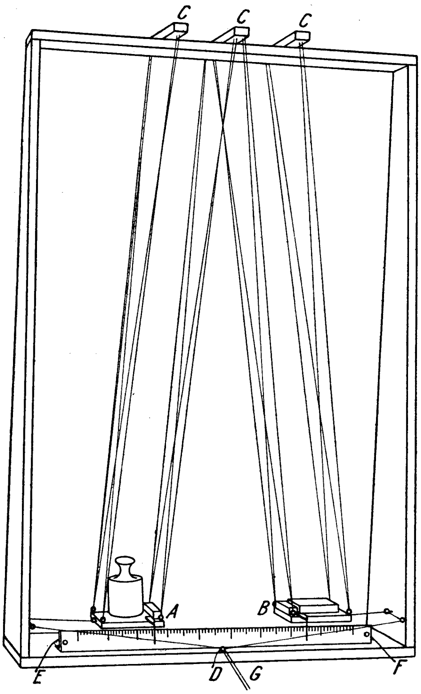

Fig. 131.

Stoßwage Nr. . . .

Linkes Pendel			
Masse m_1 gr	Nullage cm	Verschiebung a_1 cm	Relative Bewegungsgröße $m_1 a_1$

Rechtes Pendel				$m_1 a_1 - m_2 a_2$
Masse m_2 gr	Nulllage cm	Verschiebung a_2 cm	Relative Bewegungsgröße $m_2 a_2$	
			Mittel	. . . . .

d) Wiederhole den Versuch (c), doch verschiebe das linke Pendel stets um 12 cm und ändere diesmal die Verschiebung des rechten Brettchens.

e) Lege auf das linke Brettchen das Bleistück und auf das rechte 500 gr (Fig. 131). Ermittele die Verschiebungen, bei denen beide Pendel nach dem Zusammenstoßen zur Ruhe kommen. Sind a_1 und a_2 die Verschiebungen beider Brettchen, v_1 und v_2 ihre Geschwindigkeiten beim Zusammenstoßen und m die Masse des Bleistücks, so ist $m v_1/500 v_2 = m a_1/500 a_2$ und mithin

$$m = \frac{a_2}{a_1} 500 \,[\mathrm{gr}].$$

f) Wiederhole die Massenbestimmung unter Benutzung verschiedener Werte von a_1 und a_2 und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

g) Bestimme die Masse des Bleistückes mit der Wage.

Bemerkungen. Die Stoßwage von Hicks (Fig. 131). Zwei leichte Brettchen A und B (10 cm $\times$ 10 cm) hängen mit starken Fäden an drei 20 cm langen Querstäben C, die auf einem Holzrahmen befestigt sind. Die Enden der Schnüre sind mit Ösen versehen, die mi, Reißnägeln auf den Querstäben festgeheftet werden. Die Längen (90 cm) der Schnüre und die Längen (20 cm) der Querstäbe sind so abgepaßt, daß sich beide Brettchen in der Gleichgewichtslage eben berühren, und daß sie, wenn man sie seitwärts zieht, die wagerechte Stellung beibehalten. An den einander zugekehrten Enden A und B der beiden Brettchen sind zwei kleine Holzklötze aufgeleimt. Aus einem dieser Klötze ragen zwei scharfe Metall-spitzen heraus. Sobald die Brettchen aufeinanderstoßen, dringen diese Spitzen in den Klotz des anderen Brettchens ein, und es haften mithin A und B nach dem Stoß zusammen. Statt der Stifte kann man auch Klebwachs verwenden. Die Brettchen werden mit zwei dünnen Fäden zur Seite gezogen. Jeder Faden geht durch zwei Ringe an den Seitenwänden des Rahmens und von da nach der Ringschraube D im Grundbrett. Hält man beide Fäden bei G zwischen Zeigefinger und Daumen derselben Hand, so kann man beide Pendel in demselben Augenblick loslassen. Die Strecken, um die beide Pendel seitwärts gezogen werden, liest man an der Skala EF mit den beiden Zeigern ab, die an den Brettchen befestigt sind.

Die richtige Abpassung der Schnüre und die Einstellung der Brettchen ist recht mühsam.

Man lasse nicht mit zu kleinen Verschiebungen arbeiten. Man achte streng darauf, daß die Schüler nicht versuchen, die Brettchen, die sich mit den Spitzen aneinandergeheftet haben, mit den Zugschnüren auseinanderzureißen, sondern stets mit den Händen die Brettchen auseinanderziehen.

VII. Arbeit und Wucht.

11. Aufgabe. *Am einen Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt, deren Gewicht das Rad dreht. Welche Wucht erlangt die sinkende Masse?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *195 Nr. 1.*

Geräte. Rad mit wagerechter Achse (vgl. S. 167). Schnur. | Belastungsgewichte. Maßstab. Stechuhr.

1. Verfahren.

Anleitung. a) Mache die Schnur so lang, daß sie in dem Augenblick abfällt, wo das Gewicht den Boden berührt (Fig. 132). Befestige das eine Ende der Schnur mit einer losen Schleife am Stift der Achse und hänge an das andere Ende eine Masse von $\sim$ 100 gr.

b) Drehe das Rad und wickle die Schnur in dicht nebeneinander liegenden vollen Windungen so weit auf die Achse, daß die Masse an ihrem Ende eben frei herabhängt. Miß die Höhe (h cm) des untern Randes der Masse über dem Fußboden.

c) Laß die Masse los und miß mit der Stechuhr die Fallzeit (t sek). Bezeichnet v cm/sek die Endgeschwindigkeit der sinkenden Masse, dann ist die mittlere Geschwindigkeit ${}^1/_2\, v$, die Falltiefe $h = {}^1/_2\, vt$, mithin $v = 2h/t$ und die Wucht der aufschlagenden Masse $Q = {}^1/_2\, mv^2$ [Erg].

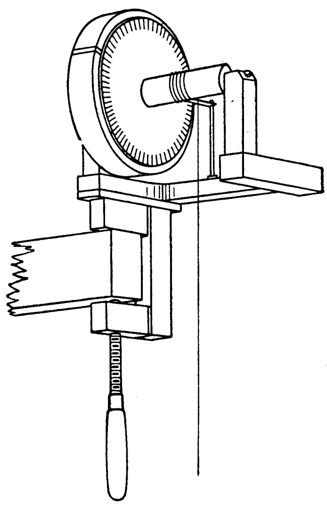

Fig. 132.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schwungrad Nr. . . .

Fallende Masse m gr	Falltiefe h cm	Fallzeit t sek	Endgeschwindigkeit $v = 2\,h/t$ [cm/sek]	Wucht der aufschlagenden Masse $Q = {}^1/_2\, m v^2$ [Erg]

e) Wiederhole den Versuch mit andern Massen (150, 200, 250 gr) und verschiedenen Falltiefen.

2. Verfahren.

f) Verfahre wie vorher. Miß die Fallzeit t sek und die Anzahl n der Umdrehungen während des Sinkens. Ist beim Aufschlagen der Masse z die Umlaufszahl für 1 sek., so ist die mittlere Umlaufszahl des Rades ${}^1/_2\, z$ und die Anzahl n der Umdrehungen während des Sinkens $n = {}^1/_2\, z t$ und mithin $z = 2n/t$.

g) Wickle die Schnur wie bei (b) auf die Achse, drehe das Schwungrad n'-($\sim$ 25) mal herum und miß die ganze Falltiefe h' cm der Masse. Berechne die Falltiefe für eine Umdrehung. $h_1 = h'/n'$. Die Endgeschwindigkeit der aufschlagenden Masse ist mithin $v = h_1 z = 2 n h_1/t$.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Anzahl der Umdrehungen während des Sinkens n	Fallzeit t sek	Umlaufszahl für 1 sek beim Aufschlagen $z = 2\,n/t$	Zahl der Windungen n'	Zugehörige Falltiefe h' cm	Falltiefe für eine Umdrehung $h_1 = h'/n'$	Endgeschwindigkeit $v = h_1 z$ [cm/sek]	Wucht der Masse beim Aufschlagen $Q = {}^1/_2\, m v^2$ [Erg]

i) Wiederhole das Verfahren mit andern Massen und verschiedenen Falltiefen. Vgl. (e).

3. Verfahren.

k) Miß die Zeit (t sek) vom Beginn der Raddrehung bis zum Aufschlagen der Masse und die Zeit (T sek) vom Beginn des Drehens bis zum Stillstehen des Rades und zähle zugleich die Anzahl n der Umdrehungen während der Zeit t und die Anzahl N der Umdrehungen während der Zeit T. Das Schwungrad macht in den T Sekunden N Umdrehungen, also ist die mittlere Umlaufszahl für eine Sekunde N/T. Bezeichnet z die Umlaufszahl für eine Sekunde beim Aufschlagen des Gewichtes, so ist die mittlere Umlaufszahl ${}^1/_2\, z = N/T$ und mithin $z = 2N/T$. Ist h_1 die Falltiefe für eine Umdrehung des Rades, so ist die Geschwindigkeit der aufschlagenden Masse $v = h_1 z = 2 N h_1/T$ und deren Wucht $Q = {}^1/_2 m v^2$ [Erg].

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Gesamtzahl der Umdrehungen des Rades N	Drehzeit des Rades T sek	Umlaufszahl für 1 sek beim Aufschlagen $z = 2\,N/T$	Zahl der Windungen n'	Zugehörige Falltiefe h' cm	Falltiefe für eine Umdrehung $h_1 = h'/n'$	Endgeschwindigkeit $v = h_1 z$ [cm/sek]	Wucht der Masse beim Aufschlagen $Q = {}^1/_2\, m v^2$ [Erg]

m) Wiederhole das Verfahren mit andern Massen und verschiedenen Falltiefen. Vgl. die zusammengehörigen Ergebnisse von (e), (i) und (m).

Bemerkungen. Das Schwungrad (Fig. 132) hat folgende Einrichtung: Auf einer Achse sitzt ein eisernes Rad von 18,3 cm Durchmesser und eine Welle aus Holz von 3,09 cm Durchmesser. Auf die Seite des Rades, die der Welle zugekehrt, ist eine Kreisteilung geklebt. Der rot ausgezogene Nullstrich der Teilung liegt mit einem kurzen Stift, der in die Welle eingesetzt ist, in einer Ebene. Die Achse des Rades ruht auf Lagern, die auf einem ausgeschnittenen Grundbrett sitzen, das möglichst hoch mit einer angeschraubten Zwinge auf einem Wandgalgen befestigt wird. Das Grundbrett ist so ausgeschnitten, daß sich die Schnur frei nach unten bewegen kann. Es trägt außerdem einen lotrechten Messingstab, woran als Zeiger ein wagerechter Blechstreifen befestigt ist, der mit dem Stift und also auch mit dem Nullstrich der Teilung bei richtiger Stellung des Rades in einer Ebene liegt. Der Blechstreifen dient bei der Zählung der Umdrehungen als Marke. Man kann auch die Kreisteilung weglassen und die Umdrehungen mit einem weißen Strich zählen, den man mit Farbe auf den Radkranz gemalt hat. Die Schnur (Angelschnur) hat an beiden Enden Schleifen und ist so lang, daß sie von dem wagerecht gestellten Stift bis zu einer Höhe von ∼ 10 cm über dem Fußboden reicht. Das Anhängegewicht nebst Haken ist so schwer, daß es das Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit dreht, wenn es schwach angestoßen wird. Die geschlitzten Zusatzgewichte versetzen das Rad in eine gleichförmig beschleunigte Bewegung.

Wells *(193)* benutzt ein gußeisernes Scheibenschwungrad mit einem schweren Schwungring. Es ist auf einer Stahlachse befestigt und zwischen konischen Lagern auf einem starken gußeisernen Wandbock angebracht. Die Achse des Rades liegt wagerecht. Das Rad hat 38 cm äußern Durchmesser, der Schwungring ist 7 cm breit und 7 cm dick, die Mittelscheibe ist 0,6 cm dick, die Nabe hat 7,6 cm Durchmesser und ist 7,6 cm lang, und die Achse hat 2,9 cm Durchmesser und ist 30 cm lang. Das ganze Schwungrad wiegt 43,6 kg*. Die Radachse liegt mindestens 1,50 m über dem Fußboden. Um die Achse ist eine Schnur gewunden und so daran befestigt, daß sie sich bequem freimachen kann, sobald das daran hangende Gewicht den Boden berührt, aber sicher daran festsitzt, wenn sie sich beim Drehen des Rades auf die Achse aufwickelt und dabei das Gewicht hebt. Damit man die Umdrehungen des Rades zählen kann, ist auf den Schwungring ein weißer Strich oder Fleck gemalt. Man zählt, wie oft diese Marke an einem kleinen Stabe vorübergeht, der neben dem Schwungring befestigt ist. Bei dem schweren Schwungrad muß man mit Belastungen von 5 bis 20 kg arbeiten.

Andere Anordnungen des Schwungrades findet man bei Duncan *223* und John Perry, *Applied Mechanics 247.*

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

12. Aufgabe. *Am einen Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt, deren Gewicht das Rad dreht. Welche Arbeit wird beim Sinken des Gewichts zur Überwindung der Achsenreibung verbraucht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *196 Nr. 2.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11 S. 165.

1. Verfahren.

Anleitung. **a)** Hänge an die Schnur die kleinste Masse m_0 ($\sim$ 25) gr, die beim Sinken das schwach angestoßene Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiterdreht, und miß die Falltiefe h cm. Welche Arbeit wird durch die Reibung vernichtet? $Q_1 = m_0 g h$ [Erg].

b) Schreibe die Versuche in folgender Weise auf:

Schwungrad Nr. . . .

Sinkende Masse m_0 gr	Falltiefe h cm	Arbeit gegen die Reibung $Q_1 = m_0 g h$ [Erg]

c) Wiederhole die Versuche mit andern Falltiefen.

2. Verfahren.

d) Hänge an die Schnur eine Masse von m ($\sim$ 100) gr, laß sie zu Boden sinken und ihr Gewicht das Rad drehen. Bestimme die Zahl N der Umdrehungen vom Beginn der Bewegung bis zum Stillstehen des Rades. Das Gewicht mg Dyne sinkt um h cm und leistet während des Fallens die positive Arbeit $Q = mgh$ [Erg].

e) Bestimme wie in Aufgabe 11 die Endgeschwindigkeit (v cm/sek) und die Wucht (Q_3 Erg) der fallenden Masse.

f) Vergleiche die verbrauchte Arbeit Q mit der erzeugten Wucht Q_3 der sinkenden Masse. Wozu wird der Unterschied (Q—Q_3) zwischen der verlorenen Arbeit und der erzeugten Wucht verbraucht? Es wird zur Überwindung der Achsenreibung die Arbeit Q_1 Erg aufgewandt und dem Rade selbst die Wucht Q_2 Erg mitgeteilt. Nach dem Abfallen der Schnur hat das Schwungrad die Wucht Q_2. Welche Arbeit leistet diese Wucht bis zum Stillstehen des Rades? Sie überwindet die Achsenreibung. Welche Arbeit wird also vom Beginn der Drehung bis zum Stillstehen des Rades zur Überwindung der Reibung verbraucht? $Q_1 + Q_2 = Q - Q_3 = mgh - {}^1/_2\, mv^2$. Diese Arbeit wird während N Umdrehungen des Rades verzehrt und daher während einer Umdrehung die Arbeit ($mgh - {}^1/_2\, mv^2$) Erg/N. Welche Arbeit wird also während des Sinkens der Masse m durch Reibung vernichtet, wenn das Rad vom Beginn der Bewegung bis zum Aufschlagen der Masse n Umdrehungen gemacht hat?

$$Q_1 = \frac{n}{N}(mgh - {}^1/_2\, mv^2)\ [\text{Erg}].$$

g) Schreibe die Ergebnisse der Bestimmung von v wie in Aufgabe 11 auf und die weiteren Ergebnisse in folgender Weise:

Sinkende Masse m gr	Falltiefe h cm	Positive Arbeit der sinkenden Masse $Q = mgh$ [Erg]	Endgeschwindigkeit der sinkenden Masse v cm/sek	Wucht der sinkenden Masse $Q_3 = {}^1/_2\, mv^2$ [Erg]	Anzahl der Umdrehungen bis zum Aufschlagen der Masse n	Anzahl der Umdrehungen bis zum Stillstehen des Rades N	Arbeit zur Überwindung der Reibung Q_1 [Erg]

h) Wiederhole die Versuche mit verschiedenen Massen und Falltiefen.

i) Vergleiche die erhaltenen Werte der Arbeit Q_1 mit den Werten, die die Versuche (a) und (c) geliefert haben. Wie sind die Unterschiede zu erklären? Vergleiche die Geschwindigkeiten, mit denen sich das Rad bei beiden Verfahren dreht. Vergleiche ferner die Belastungen der Achse bei beiden Verfahren. Haben die Geschwindigkeit und die Belastung einen Einfluß auf die Reibung? Vergleiche auch die Belastungen mit dem Gewicht des Schwungrades. Bei welchem Verfahren werden die Versuchsbedingungen am wenigsten geändert? Welches der beiden Verfahren ist also vorzuziehen?

Bemerkungen. Benutzt man ein so schweres Schwungrad wie Wells, so muß man beim zweiten Verfahren sinkende Massen von 5 bis 20 kg anwenden.

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

13. Aufgabe. *Wie groß ist die Wucht des Schwungrades in dem Augenblick, wo das Gewicht der sinkenden Masse aufhört, darauf zu wirken?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Wells *198 Nr. 3.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11, dazu Millimeterpapier.

Anleitung. a) Die positive Arbeit des sinkenden Gewichts mg Dyne ist

$$Q = mgh\ [\text{Erg}]$$

und die Wucht der sinkenden Masse in dem Augenblick, wo sie auf den Fußboden aufschlägt (vgl. Aufgabe 11),

$$Q_3 = {}^1/_2\, mv^2\ [\text{Erg}].$$

Zur Überwindung der Achsenreibung wurde nach Aufgabe 12 die Arbeit

$$Q_1 = \frac{n}{N}(mgh - {}^1/_2\, mv^2)\ [\text{Erg}]$$

verbraucht.

In dem Augenblick, wo die Einwirkung des sinkenden Gewichts aufhört, hat daher das Schwungrad die Wucht

$$Q_2 = Q - (Q_1 + Q_3)$$

$$Q_2 = mgh - \left[{}^1/_2\, mv^2 + \frac{n}{N}(mgh - {}^1/_2\, mv^2)\right].$$

b) Bestimme für die sinkenden Massen 100, 150, 200 und 250 gr die Wucht des Schwungrades.

c) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und setze dabei $x = v^2$ und $y = Q_2$. Zeichne die Gerade, die sich den erhaltenen Punkten am besten anschmiegt. Welche Beziehung besteht zwischen Q_2 und v^2?

d) Macht das Schwungrad in einer Sekunde z Umdrehungen, so ist seine *Winkelgeschwindigkeit* $\omega = 2\pi z$. Bezeichnet ϱ den *Trägheitshalbmesser* des Rades, so ist dessen Geschwindigkeit $\varrho\omega$ cm/sek und, wenn M die Masse des Schwungrades bedeutet, dessen Wucht

$$Q_2 = {}^1/_2\, M\varrho^2\omega^2$$

oder, wenn man das *Trägheitsmoment* des Rades $M\varrho^2$ mit K bezeichnet,

$$Q_2 = {}^1/_2\, K\omega^2.$$

e) Berechne aus den Versuchsergebnissen der Aufgaben 11 bis 13 den Trägheitshalbmesser und das Trägheitsmoment des Rades.

Bemerkungen. Benutzt man ein so schweres Schwungrad wie Wells, so muß man sinkende Massen von 5 bis 20 kg anwenden.

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

14. Aufgabe. *Wie groß ist das Drehmoment der Achsenreibung und das Trägheitsmoment eines Rades?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Kelsey *52 Nr. 35.*

Geräte.

Rad mit wagerechter Achse (vgl. S. 167).	Schublehre.
Schnur.	Wage.
Belastungsgewichte.	Gewichtsatz.
Maßstab.	Stechuhr.

Anleitung. a) Nimm das Rad aus seinem Lager, miß den Durchmesser d der Welle, lege die eine Endschleife der Schnur über den Stift auf der Welle, wickle die Schnur in dicht nebeneinanderliegenden Windungen auf die Welle, zähle dabei die Anzahl der

Windungen und schreibe diese Zahl n und den Halbmesser r der Welle auf.

b) Hängt man an die freie Endschleife der Schnur die Masse m gr, so durchfällt sie die Höhe h cm und das Gewicht mg Dyne setzt das Rad in eine gleichförmig beschleunigte Drehung. Sobald sich die Schnur abgewickelt hat, fällt sie vom Stift ab. Welche Beziehung besteht zwischen h, r und n? Man kann auch h selbst messen, indem man die Schnur aufwickelt und die Höhe des Gewichts mißt, wenn es hochgewunden ist, und wenn es die Stellung hat, wo es vom Stift abfällt. Wie groß ist der gewonnene Arbeitsvorrat Q der Masse m, wenn der Faden aufgewunden ist?

c) Beim Abrollen der Schnur leistet das fallende Gewicht positive Arbeit. Diese überwindet die Achsenreibung des Rades in den Lagern und erteilt dem Rade und dem fallenden Körper eine gewisse Wucht.

d) Die Arbeit Q_1, die zur Überwindung der Achsenreibung erforderlich ist, mißt man durch das Produkt aus dem Drehmoment P dieser Reibung und dem Winkel $2\pi n$, um den sich das Rad vom Beginn der Bewegung bis zum Abfallen der Schnur dreht. Das Drehmoment P der Reibung ist das Moment, das unter Überwindung der Reibung das schwach angestoßene Rad eben in gleichförmiger Drehung erhält. Es ist also

$$Q_1 = 2\pi n \cdot P,$$

wo P noch zu bestimmen ist.

e) Ermittele durch Versuche das kleinste Gewicht $m_0 g$ Dyne, das, an die freie Endschleife der Schnur gehängt, beim Sinken das schwach angestoßene Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter dreht. Es ist dann

$$P = m_0 g \cdot r.$$

Bestimme die Masse m_0 mit der Wage. Wiederhole den Versuch mehrmals, nimm das Mittel aus den Werten von m_0 und berechne P und Q_1.

f) Wickle die Schnur wieder mit n Windungen auf die Welle hänge an die freie Endschleife das Gewicht mg Dyne. Stelle das Rad so, daß der Nullpunkt der Kreisteilung, also auch der Stift, mit der wagerechten Drahtmarke in einer Ebene liegt. Setze in dem Augenblick, wo das Gewicht losgelassen wird und das Rad sich von selbst zu drehen beginnt, die Stechuhr in Gang und hemme sie in dem Augenblick, wo die Schnur vom Stift abfällt. Lies die Fallzeit t sek ab. Der Mitarbeiter zähle von dem Augenblick an, wo die Schnur herabgefallen ist, die Umdrehungen (die vollen Umdrehungen und den Bruchteil der letzten Umdrehung), die das Rad bis zu seinem Stillstehen macht. Schreibe diese Zahl n' auf. Bestimme die Masse m gr mit der Wage. Wiederhole die Messungen mehrmals und bilde die Mittelwerte von t und n'.

g) Das Rad hat in dem Augenblick, wo die Schnur vom Stift abfällt, die Wucht

$$Q_2 = {}^1/_2\, K\omega^2,$$

wo K das Trägheitsmoment und ω die Winkelgeschwindigkeit des Rades bezeichnet. Die Dauer t der beschleunigten Bewegung des Rades ist mit der Stechuhr bereits bestimmt worden. Die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Rades ist $2\pi n/t$ und, da die Endgeschwindigkeit ω doppelt so groß ist,

$$\omega = \frac{4\pi n}{t}.$$

h) Die Wucht Q_3 des fallenden Gewichts mg selbst ist ${}^1/_2 mv^2$. Die mittlere Geschwindigkeit des Gewichts ist h/t oder, da $h = 2\pi n \cdot r$ ist, $2\pi n \cdot r/t$, und mithin die doppelt so große Endgeschwindigkeit

$$v = 4\pi n \cdot \frac{r}{t}.$$

Ermittele, falls h selbst gemessen worden ist, v auch aus der Beziehung $v = 2h/t$. Berechne aus dem so erhaltenen Werte von v die Wucht Q_3.

i) Es ist
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
und $Q_2 = {}^1/_2\, K\omega^2$, mithin

$$K = 2\frac{Q - Q_1 - Q_3}{\omega^2}.$$

Berechne aus den bereits ermittelten Werten von Q, Q_1, Q_3 und ω das Trägheitsmoment des Rades.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rad Nr. . . .

Durchmesser der Welle $d = \ldots$ [cm].
Halbmesser der Welle $r = \ldots$ [cm].
Anzahl der Windungen $n = \ldots$
Drehungswinkel $2\pi n = \ldots$ [Radiant].
Fallhöhe $h = 2\pi n \cdot r = \ldots$ [cm].
Masse des Fallkörpers $m = \ldots$ [gr].
Gewicht des Fallkörpers $mg = \ldots$ [Dyne].
Arbeitsvorrat des hochgewundenen Fallkörpers
$Q = mgh = \ldots$ [Erg].
Masse des Reibungsgewichts (Mittelwert) $m_0 = \ldots$ [gr].
Reibungsgewicht $m_0 g = \ldots$ [Dyne].
Drehmoment der Reibung $P = m_0 g \cdot r = \ldots$ [Dyne $\times$ cm].
Negative Arbeit der Reibung $Q_1 = 2\pi n \cdot P = \ldots$ [Erg].
Fallzeit (Mittelwert) $t = \ldots$ [sek].
Anzahl der Umdrehungen nach dem Abfallen der Schnur (Mittelwert) $n' = \ldots$
Mittlere Winkelgeschwindigkeit $2\pi n/t = \ldots$ [Rad/sek].
Endgeschwindigkeit des Rades $\omega = 4\pi n/t = \ldots$ [Rad/sek].
Mittlere Geschwindigkeit des Fallkörpers $h/t = \ldots$ [cm/sek].
Endgeschwindigkeit des Fallkörpers $v = 2h/t = \ldots$ [cm/sek].
Wucht des Fallkörpers $Q_3 = {}^1/_2\, mv^2 = \ldots$ [Erg].
Trägheitsmoment des Rades $K = 2(Q - Q_1 - Q_3)/\omega^2 = \ldots$ [cm^{2}gr].

l) Das Drehmoment der Achsenreibung kann man auch aus der Anzahl n' der Umdrehungen bestimmen, die das Rad nach dem Abfallen der Schnur noch macht. Da die ganze Wucht Q_2 des Rades zur Überwindung der Reibung verbraucht wird, ist

$$Q_2 = 2\pi n' \cdot P,$$

mithin

$$P = \frac{Q_2}{2\pi n'} = \frac{4\pi n^2}{n'} \cdot \frac{K}{t^2}.$$

Man muß also erst K und daraus P berechnen. Da

$$\begin{aligned} Q &= 2\pi n \cdot mg \cdot r \\ Q_1 &= 2\pi n \cdot P = \frac{8\pi^2 n^2}{n'} \cdot \frac{K}{t^2} \\ Q_2 &= 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{K}{t^2} \\ Q_3 &= 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{mr^2}{t^2} \end{aligned}$$

und

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

so liefert eine leichte Rechnung

$$K = \frac{mr\,({}^1/_2 g t^2 - h)}{2\pi n\left(1 + \frac{n}{n'}\right)}.$$

Berechne mit dieser Formel K und daraus P. Vergleiche den so erhaltenen Wert von P mit dem, der sich aus Versuch (e) ergeben hat.

Bemerkungen. Die Aufgabe 14 ist im Wesen von den Aufgaben 11 bis 13 nicht verschieden.

Man lasse die Aufgaben 11 bis 14 gleichzeitig von den verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

Feinere Messungen mit schreibenden Stimmgabeln (Ames-Bliss *79 Nr. 13* und Millikan *78 Nr. 10*) eignen sich kaum für Schülerübungen.

Vgl. Voigt, *Elementare Mechanik*[1] *195.*

Dritter Teil.

Eigenschaften der Flüssigkeiten.

1. Aufgabe. *Kann man mit einer U-Röhre die Dichten zweier Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, miteinander vergleichen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. U-Röhre.
2 Bunsengestelle.
Lot oder Stahlwinkel und Wasserwage.
Maßstab, am besten auf Spiegel.
Papier.
Schere.
Klebwachs.
Quecksilber oder Terpentinöl, Paraffinöl, Petroleum.
2 Trichter, über deren Hälse kurze Kautschukschläuche gestreift sind.
Thermometer.
Quecksilberbrett.
Quecksilberzange.

Anleitung. a) Klemme die Röhre nahezu senkrecht an dem Gestell fest, das auf dem Quecksilberbrett steht. Setze die Wasserwage auf den einen Schenkel des Stahlwinkels, lege den andern Schenkel an die Röhre an und richte diese genau lotrecht aus oder bringe sie mit einem Lot in die richtige Stellung. Hänge den Maßstab so hinter der Röhre auf, daß man die Flüssigkeitshöhen in beiden Schenkeln bequem und sicher ablesen kann.

b) Gieße mit dem einen Trichter so viel Quecksilber (die dichtere Flüssigkeit) in die Röhre, daß es $\sim$5 cm über der Biegung steht.

c) Gieße mit dem andern Trichter langsam so viel Wasser (die dünnere Flüssigkeit) darauf, daß es den einen Schenkel bis zu $\sim {}^2/_3$ seiner Länge füllt. Achte dabei darauf, daß das Wasser das Quecksilber nicht aus der Biegung hinausdrückt. Ist dies zu befürchten, so fülle mit dem ersten Trichter im andern Schenkel Quecksilber nach.

d) Tauche das Thermometer, das an einem Faden hängt, eine Minute lang erst in das Quecksilber und dann ebenso lange in das Wasser und lies die Temperatur jeder Flüssigkeit ab.

e) Klopfe leise gegen die Röhre und lies dann am Maßstab die Höhe (h_1 cm) der Wasserkuppe A, die Höhe (h_2 cm) der Quecksilberkuppe B und die Höhe (h_3 cm) der Quecksilberkuppe C ab (Fig. 133).

Hat man keinen Spiegelmaßstab, so schneidet man zwei lange schmale Papierstreifen mit geraden, glatten und parallelen Rändern. Das eine Ende rollt man zu einer Papierhülse, die gerade über die Glasröhre paßt, und hält den Ring mit etwas Klebwachs zusammen. Das gerade andere Ende des Streifens soll als Zeiger über die Teilung des Maßstabes hinwegragen (Fig. 134). Schiebe den Zeiger so weit über den Schenkel der U-Röhre, daß die Kuppe der Flüssigkeit den Rand (beim Quecksilber den untern und beim Wasser den obern Rand) des Zeigerrings berührt, wenn man das Auge so hält, daß das vordere und hintere Stück des Randes genau zusammenfallen.

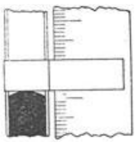

Fig. 134.

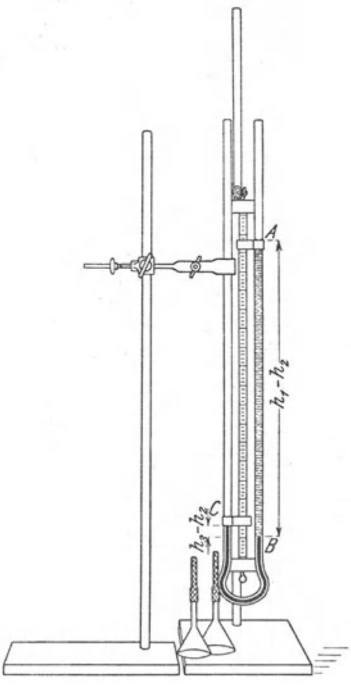

Fig. 133.

f) Wie hoch sind die Wassersäule und die Quecksilbersäule, die sich das Gleichgewicht halten? $h_w = h_1 - h_2$ und $h_q = h_3 - h_2$. Wie verhalten sich die Drucke (d. h. die Druckkräfte für jedes Quadratzentimeter des Querschnittes) zu den Höhen und zu den Dichten der Flüssigkeiten? Es bezeichnen ϱ_q und ϱ_w gr/cm³ die Dichten von Quecksilber und Wasser und h_q und h_w cm die Höhen der Wasser- und Quecksilbersäulen. Welche Beziehung besteht zwischen diesen vier Größen? $\varrho_q/\varrho_w = h_w/h_q$. Drücke h_w und h_q durch h_1, h_2 und h_3 aus.

g) Gieße so viel Wasser hinzu, daß es fast bis zum obern Rande des Schenkels steigt, und wiederhole die Messungen (e). Die Ergebnisse seien h'_1, h'_2 und h'_3 cm. Welche Beziehung besteht zwischen diesen Größen und ϱ_q und ϱ_w?

h) Wiederhole die Temperatur-Messungen (d).

i) Aus den beiden Gleichungen $\varrho_q/\varrho_w = (h_1 - h_2)/(h_3 - h_2)$ und $\varrho_q/\varrho_w = (h'_1 - h'_2)/h'_3 - h'_2)$ folgt

$$\frac{\varrho_q}{\varrho_w} = \frac{(h'_1 - h_1) - (h'_2 - h_2)}{(h'_3 - h_3) - (h'_2 - h_2)}.$$

k) Berechne mit dieser Formel das Verhältnis der Dichten ϱ_q/ϱ_w. Wie groß ist die Dichte ϱ_w des Wassers und mithin die Dichte des Quecksilbers?

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

U-Röhre Nr. . . .

Temperatur des Quecksilbers am Anfang . . .^{0} C, am Ende . . .^{0} C.
Temperatur des Wassers am Anfang . . .^{0} C, am Ende . . .^{0} C.
Die Dichte des Wassers bei der Temperatur . . .^{0} C ist $\varrho_w = \dots$ [gr/cm^3].

	1. Messung h_ν cm	2. Messung h'_ν cm	Unterschied $h'_\nu - h_\nu$
Höhe von A			
B			
C			

m) Schreibe deinen Namen und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

n) Laß die U-Röhre vom Lehrer entleeren und reinige sie dann gründlich.

Bemerkungen. Die Schenkel der U-Röhren haben eine Länge von mindestens 60 cm, eine lichte Weite von 0,8 bis 1 cm und einen innern Abstand von 3 cm. Weitere Röhren (von $\sim$ 2 cm Durchmesser) liefern zwar bessere Ergebnisse, doch erfordern sie mehr Quecksilber. Wasser und Quecksilber sind die geeignetsten Flüssigkeiten; Petroleum, Terpentinöl, Paraffinöl veranlassen eine unbequeme und zeitraubende Reinigung. Hat man keinen Diener, sondern muß man selbst die Röhren reinigen und trocknen, so ist es ratsam, da man oft hierzu nicht sofort Zeit findet, bei geteilten Klassen, wo innerhalb einer Woche zwei Abteilungen denselben Apparat benutzen, eine größere Anzahl von U-Röhren anzuschaffen, damit auch die nachfolgende Abteilung gebrauchsfertige Apparate vorfindet. Die ausgetrockneten Röhren verschließt man, wenn sie nicht benutzt werden, mit Wattepfropfen.

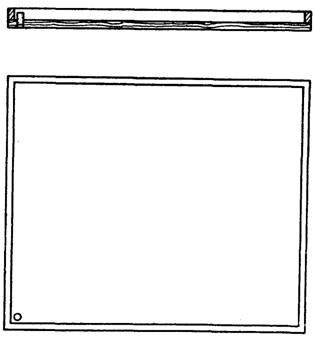

Fig. 135.

Die Röhren kann man auch an lotrechten Brettern, die mit Grundbrettern und Teilungen versehen sind, oder an den Wandbrettern, und zwar am besten mit Federklemmen, befestigen. Vgl. Hahn, *Freihandversuche 2, 27 Nr. 60.* Die Höhen mißt man dann vom Grundbrett oder vom untern Rande des Wandbrettes aus.

Beim Entleeren der Röhren gießt man in einen großen Trichter, dessen Hals man mit dem Zeigefinger verschließt, erst eine kleine Menge der schwerern Flüssigkeit und dann den Gesamtinhalt der Röhre. Man läßt nun erst die schwerere und dann die leichtere Flüssigkeit in untergesetzte Gefäße ablaufen.

Das Quecksilberbrett (Fig. 135) besteht aus einer dreifach verleimten Holzplatte (60 cm $\times$ 45 cm), die Randleiste ist 2 cm hoch. Man kann in der einen Ecke ein Ausgußloch von 0,8 cm Durchmesser anbringen und mit einem Kork verschließen; ebenso bequem ist es aber, das Quecksilber über die eine Ecke auszugießen.

Haben alle Schüler mit den gleichen Flüssigkeiten gearbeitet, so bildet man das Mittel aus ihren Ergebnissen.

Man kann die Aufgaben 1 und 2 gleichzeitig bearbeiten lassen.

2. Aufgabe. *Kann man mit einer* U-*Röhre die Dichten zweier Flüssigkeiten, die sich mischen, miteinander vergleichen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, doch anstatt Quecksilber gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat, dazu	Pipette. Klebepapier.

Anleitung. a) Gieß etwas Quecksilber (∼ 5 cm hoch) in die Röhre und klebe sorgfältig um den einen Schenkel ein Stück Papier und zwar so, daß der untere Rand genau die Kuppe berührt, wenn man das Auge so hält, daß das vordere und hintere Randstück zusammenfallen.

b) Fülle mit der dünnern der beiden Flüssigkeiten, die miteinander zu vergleichen sind, den einen Schenkel bis zu einem Stande, der ∼ 5 cm unter dem obern Rande liegt. Achte dabei darauf, daß die Flüssigkeit das Quecksilber nicht durch die Biegung drückt. Ist diese Gefahr vorhanden, so gieß in den andern Schenkel etwas von der dichtern Flüssigkeit, und fahre dann mit der Füllung des ersten Schenkels fort.

c) Gieße vorsichtig in den anderen Schenkel die dichtere Flüssigkeit, bis in beiden Schenkeln das Quecksilber wieder gleich hoch steht, was man mit dem Papierring feststellt. Hat man von einer Flüssigkeit zuviel eingegossen, so entferne man mit der Pipette oder mit Fließpapier den Überschuß.

d) Miß die Höhen der Flüssigkeitssäulen über dem Quecksilberstand und berechne daraus das Verhältnis ihrer Dichten. Vgl. Aufgabe 1 (f).

e) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m) und (n).

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zur 1. Aufgabe auf S. 176.

3. Aufgabe. *Welchen Gewichtverlust erleidet ein Körper, den man ganz in eine Flüssigkeit eintaucht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wage. Gewichtsatz. Brücke. Zylinder (vgl. Teil 1, Aufg. 3, S. 7). Schublehre. Seidenfaden.	Schere. Pipette. 2 Bechergläser (600 cm^3). Unterlegklötze. Thermometer. Kamelhaarpinsel. Bunsengestell.

Anleitung. a) Schlage nach, welchen Raum der Zylinder Nr. . . . einnimmt, oder miß wie in Teil 1 Aufgabe 3 und 4 seinen Durchmesser und seine Höhe und berechne daraus seinen Inhalt. Wieviel Kubikzentimeter Wasser verdrängt der Zylinder? Wieviel Grammgewicht Wasser sind dies?

b) Setze über die linke Wageschale die Brücke und darauf das leere Becherglas. Achte darauf, daß die Brücke die Schale nicht berührt. Hänge mit einer Watsonschen Doppelschleife (vgl. Teil 2 Aufg. 26 S. 105) den Zylinder so an den Haken des Schalenbügels, daß er die Wand des Bechers nicht berührt und ganz von dem Wasser bedeckt werden wird, das man später in das Glas gießt. Befestige nötigenfalls mit einer Spur Klebwachs die Schleife am Zylinder. Lege auf die andere Wageschale einen Faden, der so lang wie der Auf-

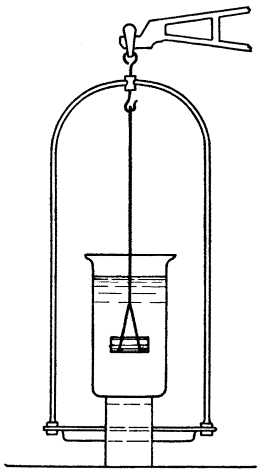

Fig. 136.

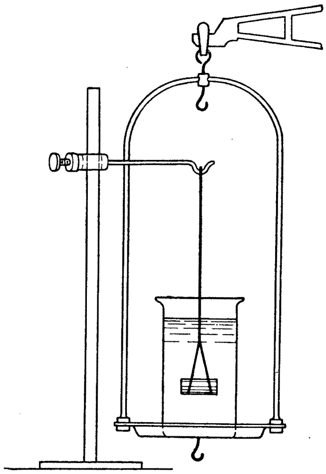

Fig. 137.

hängefaden ist. Die Doppelschleife soll so groß sein, daß später nur möglichst kleine Stücke des Fadens im Wasser hängen und nur ein Fadenstück durch den Wasserspiegel hindurchtritt. Bestimme mit der Wage genau das Gewicht (F_1 gr*) des Zylinders.

c) Nimm vorsichtig das Becherglas von der Brücke, laß aber den Zylinder an der Wage hangen. Fülle so viel Wasser in das Glas, daß der Zylinder vollkommen darin untertaucht, wenn man ihn später hineinhängt und die Wage ins Gleichgewicht bringt. Stelle das Becherglas wieder auf die Brücke und hänge den Zylinder hinein. Entferne sorgfältig alle Luftblasen mit einem Pinsel oder durch Auf- und Abbewegen des Zylinders und sieh nach, ob dieser irgendwo die Glaswand oder die Brücke der Wageschale berührt. Stelle das Gleichgewicht her und bestimme das Gewicht (F_2 gr*) des Zylinders, während er ganz in das Wasser eintaucht (Fig. 136).

d) Wieviel Grammgewicht hat der Zylinder verloren? Ist der Zylinder an sich wirklich leichter geworden? Wer übt einen Gegendruck auf ihn aus? *Auftrieb.* Wieviel Grammgewicht beträgt der Auftrieb? Wie groß ist das Gewicht des verdrängten Wassers? Vergleich es mit dem Auftrieb. Welches Gesetz kann man aufstellen? *Gesetz des Archimedes.*

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Zylinder Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . .

Gewicht des Zylinders in der Luft $F_1 = . . .$ [gr*].
Scheinbares Gewicht im Wasser $F_2 = . . .$ [gr*].
Auftrieb des eingetauchten Zylinders $F_a = F_1 - F_2 = . . .$ [gr*].
Raum des verdrängten Wassers $V = . . .$ [cm^3].
Gewicht des verdrängten Wassers $F = . . .$ [gr*].
Unterschied $F_a - F = . . .$ [gr*].

f) Nimm die Brücke weg, setze das Becherglas mit Wasser auf die linke Schale und tariere es aus.

g) Hänge mit dem Faden den Zylinder so an einem Gestell auf, daß er ganz in das Wasser im Becherglas eintaucht, ohne dessen Wand zu berühren (Fig. 137), und bestimme die Gewichtvermehrung [F' gr*].

h) Vergleiche den Abtrieb F', den der Zylinder auf das Wasser ausübt, mit dem Auftrieb F_a, den das Wasser auf den Zylinder ausübt.

i) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m).

k) Trockne den Zylinder tüchtig ab, reinige das Becherglas und stülpe es auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. Man bilde die Mittelwerte von $F_a - F$ und $F_a - F'$.

Den Versuch kann man auch mit denaturiertem Spiritus ausführen lassen.

Die Seitenteile der Brücke sind 5,2 cm breit und 7 cm hoch. Die Brückenplatte ist 5,2 cm breit und 20 cm lang. Das Holz der Seitenteile ist 0,8 cm und das der Platte 0,9 cm stark. Die Schalen der Reimannschen Wage Nr. 1521 haben eine ausnutzbare Fläche von 13 cm Durchmesser.

4. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte eines Glasstopfens?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Großer Glasstopfen. Wage. Gewichtsatz. Brücke. 2 Bechergläser (600 cm^3). Dünner Seidenfaden. Kamelhaarpinsel. Pipette. Unterlegklötze.

Anleitung. **a)** Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) das Gewicht (F gr*) des Stopfens in der Luft und seinen Gewichtverlust (F_a gr*) im Wasser.

b) Wie groß ist der Raum des verdrängten Wassers und also auch der Raum (V cm^3) des Stopfens?

c) Welche Masse (m gr) hat der Glasstopfen, wenn sein Gewicht F gr* ist?

d) Berechne aus der Masse und dem Raum des Stopfens seine Dichte $\varrho = m/V$ [gr/cm³].

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Glasstopfen Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . .

Gewicht des Stopfens in der Luft $F_1 = \ldots$ [gr*].
Gewicht des Stopfens im Wasser $F_2 = \ldots$ [gr*].
Gewichtverlust im Wasser $F_a = F_1 - F_2 = \ldots$ [gr*].
Raum des Stopfens $V = \ldots$ [cm³].
Masse des Stopfens $m = \ldots$ [gr].
Dichte des Glases $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm³].

f) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m) und in Aufgabe 3 (k).

Bemerkungen. Man achte darauf, ob die Glasstopfen hohl sind. Sind einige hohl, so liefern sie willkommene, lehrreiche Prüfsteine für die Sorgfalt der Schüler.

Die Aufgaben 4 bis 8 kann man gleichzeitig von verschiedenen Schülern nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen lassen.

5. Aufgabe. *Wie dick ist der vorgelegte Kupferdraht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, nur anstatt des Glasstopfens 6 m Kupferdraht von ~ 0,9 mm Durchmesser, dazu:

Meterstab.
Beißzange.
Tarierbecher.
Tarierschrot.
Mikrometerschraube.

Anleitung. **a)** Schneide ein 6 m langes Stück Kupferdraht ab, wickel daraus eine Spule von 3 bis 5 cm Durchmesser, winde das eine Ende mehrmals um den so hergestellten Ring und biege es dann zu einem Haken um.

b) Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) den Raum (V cm³), den der Draht einnimmt. Der Draht wird nicht gewogen, sondern nur austariert.

c) Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt (q cm²), der Länge (l cm) und dem Raum des Drahtes?

d) Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt und dem Halbmesser des Drahtes? Berechne den Halbmesser (r cm) und daraus den Durchmesser (d cm) des Drahtes. Gib an, wieviel Millimeter der Draht stark ist.

e) Miß mit der Mikrometerschraube an drei Stellen des Drahtes je zwei Durchmesser, die aufeinander senkrecht stehen. Vergleiche die Ergebnisse von (d) und (e) miteinander.

f) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k).

Bemerkungen. Die Drahtspulen hebt man in einem Kasten auf, auf dessen Deckel man die Länge und den Durchmesser des Drahtes vermerkt.

Die Luftblasen entfernt man durch Auf- und Abbewegen und Schütteln der Spule.

Vgl. Bemerkungen zu Aufg 4.

6. Aufgabe. *Welche Dichte hat das vorgelegte Stück Paraffin?*
(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufg. 4, doch anstatt des Glasstopfens ein Paraffinstück, ~ 5 cm lang, 4 cm breit und ebenso dick wie die Paraffinscheibe, dazu: Bleikugel mit Haken als Senker. Tarierbecher. Tarierschrot.

Anleitung. **a)** Setze über die linke Wageschale die Brücke und darauf das Becherglas. Befestige am Haken des Schalenbügels einen Faden und daran das Paraffinstück und binde am Ende des Fadens eine Schleife. Hänge in diese Schleife den Haken des Bleisenkers. Der Faden soll so lang sein, daß das Paraffinstück und der Senker ganz in das Wasser des Becherglases eintauchen, ohne dessen Wände zu berühren, wenn dies später mit Wasser hinreichend gefüllt wird und der Wagebalken wagerecht steht.

b) Nimm das Becherglas von der Brücke, hake den Senker ab und bestimme die Masse (m gr) des Paraffinstückes.

c) Hänge nun den Senker an die untere Fadenschleife. Fülle in das Becherglas so viel Wasser, daß später nur der Senker, nicht aber das Paraffinstück, ins Wasser eintauchen wird. Stelle das Becherglas auf die Brücke, laß den Senker ins Wasser eintauchen und stelle durch Austarieren das Gleichgewicht her (Fig. 138).

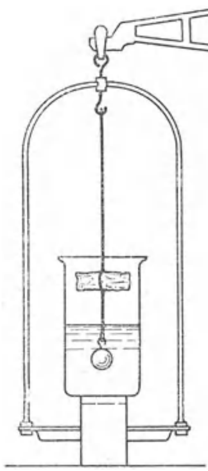
Fig. 138.

d) Fülle so viel Wasser in das Becherglas, daß auch das Paraffinstück ganz ins Wasser eintaucht, sobald der Wagebalken wagerecht steht. Entferne alle Luftblasen und lege auf die linke Schale so viel Gewichtstücke, daß wieder das Gleichgewicht hergestellt wird.

e) Wem halten die aufgelegten Gewichtstücke das Gleichgewicht? Wieviel Kubikzentimeter Wasser hat das Paraffin verdrängt? Welchen Raum nimmt also das Paraffin ein?

f) Bestimme aus dem Raum (V cm^3) und der Masse (m gr) des Paraffinstückes seine Dichte (ϱ gr/cm^3).

g) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k).

Bemerkungen. Bleiblatt (Tapeziererblei) ist wegen der Luftblasen, die sich daran und darin festsetzen, nicht zur Beschwerung von Körpern, die leichter als Wasser sind, zu empfehlen. Anstatt Paraffin kann man auch Holzstücke oder Korke verwenden, die man in Paraffin ausgekocht und so wasserdicht gemacht hat.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4.

7. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte eines Cuprisulfat-Kristalls?*
(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, nur anstatt des Glasstopfens ein Cuprisulfat-Kristall und anstatt des Wassers eine gesättigte Cuprisulfatlösung.

Anleitung. **a)** Bestimme wie in Aufg. 3 (b) und (c) die Masse und den Auftrieb des Kristalls in einer gesättigten Cuprisulfatlösung oder in einer andern Flüssigkeit, z. B. Terpentinöl, worin sich der Kristall nicht löst.

b) Bestimme wie in Aufgabe 8 die Dichte der Cuprisulfatlösung.

c) Wie groß ist das Gewicht und die Masse der Cuprisulfatlösung, die denselben Raum wie der Kristall einnimmt?

d) Wie groß ist der Raum (V cm^3), den diese Masse der Cuprisulfatlösung einnimmt, wenn ihre Dichte ϱ_l gr/cm^3 ist?

e) Berechne aus dem Raum (V cm^3) und der Masse (m gr) des Cuprisulfatkristalls dessen Dichte $\varrho_k = m/V$ [gr/cm^3].

f) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und in Aufg. 3 (k). Gieße die Cuprisulfatlösung in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

Bemerkungen. Man lasse die Messung (b) von dem einen der beiden Schüler ausführen.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4.

8. Aufgabe. *Bestimme mit der Wage die Dichte einer Flüssigkeit.*
(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie in Aufgabe 3, nur anstatt des Zylinders einen großen Glasstopfen, dazu: Alkohol, Terpentinöl, Petroleum, Benzin, Glyzerin, Lösungen von Salzen wie Kochsalz, Cuprisulfat, Ammoniumchlorid, Kaliumnitrat usw.
Mehrere Bechergläser.
Thermometer.

Anleitung. **a)** Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) den Auftrieb des großen Glasstopfens der Reihe nach in Wasser und in den verschiedenen Flüssigkeiten. Miß die Temperaturen des Wassers und der andern Flüssigkeiten. Der große Glasstopfen wird nicht gewogen, sondern nur austariert. Reinige und trockne nach jeder Benutzung den Stopfen sehr sorgfältig.

b) Berechne aus dem Auftrieb des Stopfens im Wasser seinen Raum (V cm^3).

c) Berechne aus dem Gewichtverlust des Stopfens in den Flüssigkeiten die Gewichte und Massen (m gr) der verdrängten Flüssigkeiten.

d) Berechne aus dem Raum und der Masse der verdrängten Flüssigkeit ihre Dichte $\varrho = m/V$ [gr/cm^3].

e) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k). Gieße die Flüssigkeiten in die Gefäße, die der Lehrer dafür bestimmt hat.

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4 und 7.

Vierter Teil.

Eigenschaften der Gase.

1. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Temperatur zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. F. MELDE, *Wied. Ann. 32, 659; 1887.*

Geräte. Barometer.
MELDES Kapillar-Barometer (vgl. S. 186).
2 Maßstäbe.
Gestell mit drehbarer Klemme.
Reißschiene oder Lote, Garn und Schere.
Quecksilberbrett (vgl. S. 176).
Sehr dünner Stahldraht mit einem winzigen Siegellackknopf.
Schmaler Ablesespiegel.

1. Verfahren.

a) Lies das Barometer ab oder frage den Lehrer, wie hoch der Barometerstand (b cm) ist.

b) Stelle recht behutsam die MELDEsche Röhre lotrecht und zwar mit dem offenen Ende nach unten. Miß sorgfältig, ohne dabei die Röhre zu erschüttern, unter Benutzung eines schmalen Spiegelstreifens die Länge (l_1 cm) der abgeschlossenen Luftsäule. Sollte bei diesem und den folgenden Versuchen der Quecksilberfaden reißen, so melde es sofort dem Lehrer. Fasse die Röhre selbst so wenig wie möglich und dann nur am offenen Ende an. Vermeide sorgfältig die abgesperrte Luft durch die Hand, den Atem oder sonstwie (Sonnenstrahlen) zu erwärmen. Die Röhre hat den Querschnitt q cm^2, und es ist daher der Raum V_1 der abgeschlossenen Luftmasse $q l_1$ cm^3 oder, wenn wir q cm^3 als Raumeinheit wählen, gleich l_1.

c) Miß genau die Länge (l_0 cm) des Quecksilberfadens. Sein Raum ist $q l_0$ cm^3, sein Druck $h_1 = l_0$ [cm Quecksilber] und daher die Spannung der abgesperrten Luftmasse $p_1 = (b - h_1)$ [cm Quecksilber].

d) Neige behutsam das geschlossene Ende der Röhre um 10 bis 15 cm. Miß genau die Länge (l_2 cm) der abgesperrten Luft. Es ist diesmal $V_2 = l_2$.

e) Miß genau mit Maßstab und Reißschiene oder Lot, wie hoch die Enden A und B des Quecksilberfadens über dem Tisch liegen (Fig. 139). Die Höhen seien h'_2 und h''_2 cm. Der Unterschied der Höhen, $h_2 = h''_2 - h'_2$ liefert die Druckhöhe des Quecksilbers. Diesmal ist die Spannung der eingeschlossenen Luft $p_2 = b - h_2$.

f) Neige in Stufen von jedesmal 10 bis 15 cm das geschlossene Ende der Röhre, bis zuletzt die Röhre wieder senkrecht, das geschlossene Ende aber nach unten gekehrt ist. Miß jedesmal die Höhen

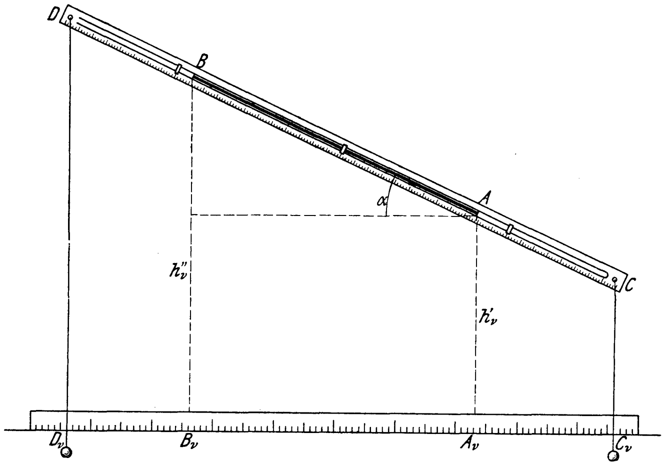

Fig. 139.

h'_v und h''_v der Enden des Quecksilberfadens und berechne die Druckhöhe des Quecksilbers $h_v = h''_v - h'_v$ und die Spannung der abgesperrten Luft $p_v = b - h_v$. Liegt das geschlossene Ende der Röhre höher als das offene, so ist die Spannung kleiner als der äußere Luftdruck, liegt es dagegen tiefer als das offene Ende, so ist die Spannung größer als der äußere Luftdruck.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Barometerstand $b = \ldots$ cm. Länge des Quecksilberfadens $l_0 = \ldots$ cm.

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft V_v	Höhe von A über dem Tisch h'_v cm	Höhe von B über dem Tisch h''_v cm	Druckhöhe des Quecksilbers $h_v = h''_v - h'_v$	Spannung der abgesperrten Luft $p_v = b - h_v$	$k = p_v V_v$
					Mittel	. . . . . .

h) Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Temperatur zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse? *Gesetz von Boyle.*

i) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = V$ und $y = p$. *Hyperbel, Asymptoten.*

k) Mache eine zweite graphische Darstellung, wo $x = V$ und $y = 1/p$ ist.

l) Ist l_0 cm die Länge des Quecksilberfadens, V_1 der Raum der abgesperrten Luft, wenn die Röhre senkrecht mit dem offenen Ende nach unten steht, und V_n der Raum der Luftmasse, wenn die Röhre senkrecht mit der Mündung nach oben steht, so ist nach dem Boyleschen Gesetz $(b - l_0)\,V_1 = (b + l_0)\,V_n$. Berechne hieraus b und vergleiche den gefundenen Wert mit der Ablesung des Barometers. *Kapillar-Barometer.*

2. Verfahren.

m) Verfahre wie bei (a) und (b).

n) Stelle die Röhre so auf, daß der Maßstab der Tischkante parallel läuft und etwas darüber hinausragt. Hänge an den Enden C und D (Fig. 139) des Maßstabes Lote auf und lege auf den Tischrand einen zweiten Maßstab.

o) Verfahre wie bei (c) bis (f), doch miß nicht den Höhenunterschied der Enden des Quecksilberfadens, sondern die Länge CD und ihre Projektion auf die Tischebene $C_\nu D_\nu = d_\nu$. Ist α_ν der Neigungswinkel des Maßstabes gegen den Tisch, so ist $\cos\alpha_\nu = C_\nu D_\nu / CD$, $h_\nu = d_\nu \operatorname{tg} \alpha_\nu$ und die Spannung der eingeschlossenen Luft $p_\nu = b - h_\nu$.

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Barometerstand $b = \ldots$ [cm].
$CD = \ldots$ cm.
Länge des Quecksilberfadens $l_0 = \ldots$ [cm].

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft V_ν	$C_\nu D_\nu = d_\nu$	$\cos\alpha_\nu = \dfrac{C_\nu D_\nu}{CD}$	Neigungswinkel α_ν	Druckhöhe des Quecksilbers $h_\nu = d_\nu \operatorname{tg} \alpha_\nu$	Spannung der abgesperrten Luft $p_\nu = b - h_\nu$	$k = p_\nu V_\nu$
						Mittel	. . . . .

q) Verfahre wie bei (h) bis (l).

Bemerkungen. Bei der Herleitung des Boyleschen Gesetzes ist es schwierig, die Temperatur der abgesperrten Luftmasse unverändert zu erhalten. Auch das Arbeiten der Schüler mit Quecksilber vermeidet man mit Recht soviel als möglich. Man hat daher mannigfache andre Vorrichtungen ersonnen, um das Gesetz abzuleiten. Vgl. u. a. Crew-Tatnall *83 Nr. 37.* H. L. Curtis, *School Science 5, 187; 1905.* Mackenzie *49 Nr. 38.* Robson *39.* Trowbridge *30 Nr. 30 ff.* Twiss *94 Nr. 27.* Am geeignetsten zur Auffindung des Gesetzes ist Meldes *Kapillar-Barometer,* vgl. Abraham *1,199 Nr. 40.* Hahn, *Freihandversuche 2, 201 Nr. 507—511.* Millikan-Gale *26 Nr. 10* Nichols-Smith-Turton *95 Nr. 35.* Noack, *Aufgaben 51 Nr. 54.* C. H. Perrine, *School Science 5, 48; 1905.* Schreber-Springmann *1,84 Nr. 105.* Anfangs verwandte man kurze Röhren und kurze Quecksilberfäden, man ist aber jetzt zu längeren Röhren und Fäden übergegangen. Es empfiehlt sich nicht, die einfache Vorrichtung von den Schülern herstellen zu lassen; der Lehrer fertige sie selbst auf folgende Weise an: Man reinige eine Barometerröhre von ∼ 110 cm Länge und 1 bis 1,5 mm lichter Weite zunächst außen und gieße dann mit einem Trichter, den man mit einem Kautschukschlauch auf das eine Ende aufsetzt, eine heiße Lösung von etwas Kaliumdichromat in starker Schwefelsäure hindurch. Man spüle erst mit fettfreiem destilliertem Wasser und dann mit reinem Alkohol nach und sauge trockene Luft durch die Röhre hindurch, bis sie ganz trocken ist. Nun taucht man die Röhre in ein weites Rohr, das ganz reines Quecksilber enthält, so weit ein, daß 12 bis 15 cm von Quecksilber freibleiben, verschließt das obere Ende mit Wachs und schmelzt das Röhrenende ab. Man kann auch die Röhre wagerecht legen, mit einem Kautschukschlauch an das eine Ende einen Trichter ansetzen, durch diesen so viel Quecksilber eingießen, daß es sich bis auf 5 oder 6 cm dem andern Ende nähert und dann die Röhre verschließen. Andere Füllungsverfahren findet man bei Abraham und Noack. Werden die Röhren nicht gebraucht, so verschließt man sie mit Wattepfropfen. Die Abweichung des verschlossenen Röhrenendes von der Zylindergestalt erfordert Verbesserungen, die man umgehen kann, wenn man nach der Füllung die Röhre mit dem offenen Ende nach oben hält und durch einen schwachen Stoß einen kurzen Quecksilberfaden abtrennt und in das untere Ende bringt. Das Verfahren erfordert einige Geschicklichkeit. Den Quecksilberfaden kann man mit einem dünnen Stahldraht verschieben, der mit einem winzigen Siegellackknopf versehen ist.

Wendet man das erste Versuchsverfahren an, so genügt es, die Röhre durch einen großen Kork zu stecken und diesen in einer drehbaren Klemme zu befestigen.

Beim zweiten Versuchsverfahren soll das fertige Rohr ∼ 98 cm lang sein. Man befestigt es mit drei Schleifen aus besponnenem Kupferdraht auf einem Meterstab. Eine Befestigung mit Kautschukringen ist nicht ratsam. Durch die Enden des Maßstabes bohrt man bei den Teilstrichen 0,5 und 99,5 cm feine Löcher, wodurch man die Lotfäden zieht. Den Maßstab befestigt man in einer drehbaren Klemme.

2. Aufgabe. *Vergleiche nach dem Verfahren von* James Watt *die Dichten zweier Flüssigkeiten miteinander.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Ames-Bliss *183 Nr. 30.* Noack, *Aufgaben 7 Nr. 8.*

Geräte. Dreiwege-Stück aus Glas oder Messing (vgl. S. 188).
2 Glasröhren von 8 bis 10 mm lichter Weite und mindestens 1 m Länge.
Kurze Glasröhre (Mundstück).
4 kurze Kautschukschläuche.
1 Kautschukschlauch von ∼ 50 cm Länge.
Kupferdraht.
Drahtzange.
Beißzange.
2 Bechergläser (600 cm³) oder Glasschalen von ∼ 7,5 cm Durchmesser und 5 cm Höhe.
Guter Schrauben-Quetschhahn.
Maßstab, am besten Spiegelmaßstab.
Papier.
Schere.

Geräte. Lot.
Wandbrett oder Bunsengestell.
3 Federklemmen (vgl. S. 176).
Rizinusöl.
Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat.
Thermometer.

Anleitung. **a)** Bestreiche die Enden des Dreiwegestückes mit etwas Rizinusöl und streife über den mittlern Schenkel den längern Kautschukschlauch und über die Seitenschenkel den kurzen Kautschukschlauch. Fette das eine Ende des Mundstücks und die Enden der langen Röhren ebenfalls mit etwas Rizinusöl ein und verbinde sie mit den Schläuchen des Dreiwegestückes. Streife über die untern Enden der langen Röhren kurze Kautschukschläuche. Binde alle Schläuche mit Kupferdraht fest auf die Glasröhren. Befestige das Dreiwegestück mit zwei Federklemmen am Wandbrett und laß die langen Röhren hinabhangen. Hänge zwischen den beiden Schenkeln einen Maßstab frei auf. Tauche den einen untern Schlauch in das Becherglas mit Wasser und den andern in das Becherglas mit der Lösung von Cuprisulfat (Fig. 140).

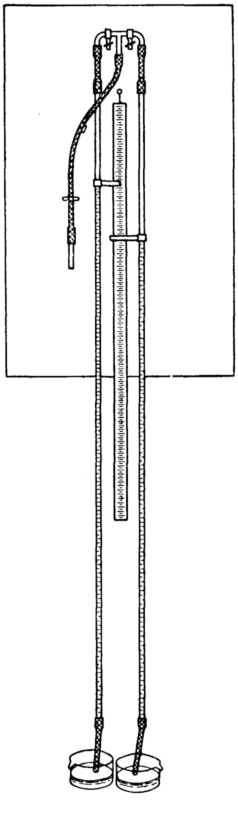

Fig. 140.

b) Setze auf den langen Schlauch den Quetschhahn. Sauge am Mundstück, bis die eine Flüssigkeit fast das obere Ende ihrer Röhre erreicht. Presse mit den Fingern den Schlauch fest zusammen und schließe den Quetschhahn. (Statt des Quetschhahns darf man auch einen Bindfaden benutzen, dann braucht man aber einen Gehilfen.)

c) Beobachte den Stand der Flüssigkeiten in beiden Schenkeln. Prüfe, wenn er sich ändert, alle Dichtungen und verbessere oder erneuere sie. Tauche eine Minute lang das Thermometer in jede Flüssigkeit und miß ihre Temperatur. Spüle nach dem Herausnehmen jedesmal das Thermometer ab und wische es dann trocken. Wurden die Flüssigkeiten emporgezogen oder -gedrückt? Wie groß ist die Spannung der eingeschlossenen Luft? Wie groß ist der Druck der äußern Luft auf die Flüssigkeitsspiegel in den Bechergläsern? Welche Beziehung besteht zwischen dem Druck der äußern Luft auf die Flüssigkeitsspiegel und den Drucken, die die Flüssigkeitssäulen in den Röhren darauf ausüben? Wie verhalten sich die Drucke der beiden Flüssigkeitssäulen?

d) Miß sorgfältig wie im dritten Teil Aufg. 1 (e) die Höhen der Flüssigkeitskuppen in beiden Röhren. Es sei H_w cm die Höhe der Wasserkuppe und H_l die Höhe der Lösungskuppe. Bezeichnet ϱ_l gr/cm³ die Dichte der Lösung und ϱ_w gr/cm³ die Dichte des Wassers, so ist $\varrho_l/\varrho_w = H_w/H_l$.

e) Öffne vorsichtig den Quetschhahn und laß ein wenig Luft ein, so daß sich die Flüssigkeitskuppen um einige Zentimeter senken. Miß wiederum die Höhen h_w und h_l der Flüssigkeitssäulen. Es ist auch $\varrho_l/\varrho_w = h_w/h_l$ und mithin

$$\frac{\varrho_l}{\varrho_w} = \frac{H_w - h_w}{H_l - h_l}.$$

f) Wiederhole den Versuch (e) noch zweimal, berechne aus der ersten und dritten und aus der zweiten und vierten Messung das Verhältnis der Dichten und nimm aus beiden Ergebnissen das Mittel.

g) Miß nochmals die Temperaturen der beiden Flüssigkeiten.

h) Wie groß ist die Dichte des Wassers bei der gemessenen Temperatur und wie groß also die Dichte der Lösung bei der gemessenen Temperatur?

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Temperatur der Lösung am Anfang . . . ⁰ C, am Ende . . . ⁰ C.
Temperatur des Wassers am Anfang . . . ⁰ C, am Ende . . . ⁰ C,
Dichte des Wassers bei der Temperatur . . . ⁰ C ist $\varrho_w =$ . . . [gr/cm³].

Höhe der Wasserkuppe cm	Höhe der Lösungskuppe cm	$H_w - h_w$	$H_l - h_l$	ϱ
			Mittel	. . . . . .

k) Gieße die Lösung in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Nimm die Vorrichtung auseinander, reinige die Röhren und Schläuche mit Seifenwasser und spüle gründlich mit Leitungswasser nach.

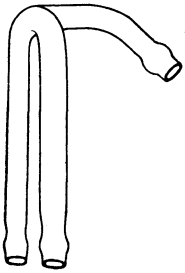

Fig. 141.

Bemerkungen. Der Abstand der Seitenschenkel des Dreiwegestückes, dessen lichte Weite auch 8 bis 10 mm ist, sei so groß, daß man den Maßstab bequem zwischen die Röhren hängen kann. Es empfiehlt sich, den mittlern Schenkel weder nach oben, noch, wie in Fig. 140, nach unten, sondern in schwacher Krümmung nach vorn zu richten (Fig. 141). Die Enden des Dreiwegestückes und der langen Röhren sind zu Schlauchansätzen auszugestalten. Nach dem Gebrauch lasse man die Vorrichtung auseinandernehmen und reinigen und verschließe nach dem Trocknen alle Enden mit Wattebäuschen.

Man kann die Höhen der Wasserkuppen und der Lösungskuppen auch mit Kautschukringen oder mit Klebepapier markieren und beim Auseinandernehmen des Apparates die Höhenunterschiede messen.

Fünfter Teil.

Schwingungen und Wellenbewegungen.

1. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spiralfeder von der Schwingungsweite ab?*

(1 Schüler, $^1/_4$ Stunde.)

Geräte. Spiralfeder.
Zeiger.
Draht.
Beißzange.
Kleine Wageschale.
Gewichtsatz.
Stechuhr.
Pinsel oder Feder.
Maßstab.
2 Bunsengestelle.

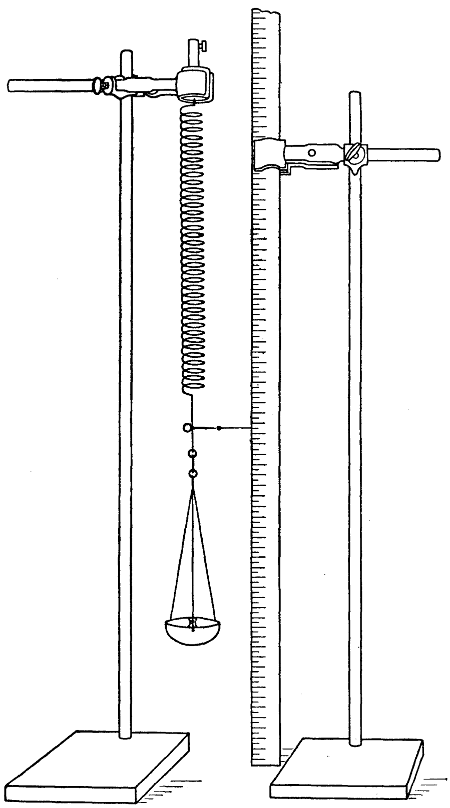

Fig. 142.

Anleitung. a) Befestige wie bei der 1. Aufgabe des 2. Teiles (S. 35) die Spiralfeder am Gestell, hänge an ihr unteres Ende die Wageschale und belaste diese so stark (mit $\sim$ 80 gr*), daß die Schwingungen für ein genaues Zählen nicht zu rasch sind. Bringe am untern Ende der Feder einen Zeiger an; ein wagerechter Draht genügt. Stelle dicht hinter dem Zeiger einen Maßstab auf und markiere daran durch einen aufgeklemmten federnden Drahtbügel oder durch eine eingesteckte Nadel die Gleichgewichtslage des Zeigers (Fig. 142). Ziehe die Feder um 2 bis 3 cm aus und laß sie so los, daß keine seitlichen Schwingungen auftreten. Sollte dies doch geschehen, so berühre die Spiralfeder mit der Hand, einem Pinsel oder einer Vogelfeder und vernichte so die störenden Schwingungen. Bestimme die Zeit von 100 Schwingungen. Zähle bei dem ersten Durchgang durch die Gleichgewichtslage Null.

b) Wiederhole den Versuch mit einer kleinern Schwingungsweite der Feder.

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Spiralfeder Nr. . . . Wageschale Nr. . . . Belastung $F = \ldots$ [gr*].

Anzahl der vollen Schwingungen N	Schwingungszeit t		Schwingungsdauer $\tau = t/N$
	min sek	sek	

Hängt die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite ab, wenn diese klein ist?

Bemerkungen. Die Spiralfeder ist aus englischem hartgezogenen Klaviersaitendraht (Music Wire) von 1,02 mm Durchmesser gefertigt und hat 100 Windungen von 1 cm Halbmesser.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen die Aufgaben 1, 2 und 4 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

2. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer einer Spiralfeder und der bewegten Masse?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 1.

Anleitung. a) Wäge die Feder und die kleine Wageschale einzeln. Befestige am Gestell die Spirale und belaste die angehängte Schale so stark (mit $\sim$ 30 gr*), daß sie höchstens zwei volle Schwingungen in der Sekunde macht. Markiere wie in Aufgabe 1 die Gleichgewichtslage des Zeigers, der an der Feder angebracht ist. Setze die Spirale in kleine Schwingungen und bestimme aus der Zeit von 100 vollen Schwingungen die Schwingungsdauer. Wiederhole den Versuch noch zweimal und nimm aus den drei so erhaltenen Werten für die Schwingungsdauer das Mittel. Zähle zu der Masse der Belastung die Masse der Wageschale und den dritten Teil der Masse der Feder hinzu. Die so erhaltene Summe ist die schwingende Masse.

b) Belaste die angehängte Wageschale so stark, daß die schwingende Masse doppelt so groß ist wie vorher und verfahre wie bei Versuch (a).

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Feder Nr. . . . Schale Nr. . . .
Masse der Feder $m' = \ldots$ [gr]. $^1/_3\, m' = \ldots$ [gr].
Masse der Wageschale $m'' = \ldots$ [gr].

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t min sek	sek	Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer τ	Verhältnis der mittlern Schwingungsdauern τ_1/τ_2	Masse der Belastung m''' gr	Schwingende Masse $m = {}^1/_3\, m' + m'' + m'''$	Verhältnis der schwingenden Massen m_1/m_2	τ^2/m

d) Vergleiche die Verhältnisse τ_1/τ_2, m_1/m_2, τ_1^2/τ_2^2 und m_1^2/m_2^2 miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der schwingenden Masse?

e) Belaste die Feder mit 80 gr*, nimm der Reihe nach jedesmal 5 gr* weg und bestimme die Schwingungsdauer. Trage die Ergebnisse in die obige Tafel ein.

f) Stelle die Ergebnisse von (e) graphisch dar, setze erst $x = m$, $y = \tau$ und dann $x = m$, $y = \tau^2$.

g) Belaste die Feder mit $\sim$ 80 gr* und bestimme die Schwingungsdauer. Entferne die Masse aus der Wageschale und binde sie an einen leichten Faden so an, daß sie 15 bis 20 cm unterhalb der Schale hängt. Ist die Schwingungsdauer so groß wie vorher?

Bemerkungen. Ist die Masse m' der Feder nicht so gering, daß man sie vernachlässigen darf, so muß man nach Poynting-Thomson, *Properties of Matter*[1] *103* den dritten Teil ihrer Masse zur Masse der Belastung und der Schale hinzufügen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und die Aufgaben 1 und 4 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

3. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spiralfeder von ihrer Kraftkonstante ab?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu
Spiegelmaßstab oder Ablesespiegel.
Spiralfeder aus federhartem Messingdraht von 1,02 mm Dicke, die 100 Windungen von 1 cm Halbmesser hat.

Anleitung. a) Wäge die Federn und die kleine Wageschale einzeln.

b) Hänge die Feder aus Stahldraht auf und befestige den Maßstab so, daß der Federzeiger dicht vor der Teilung spielt.

c) Belaste die Feder mit 30 gr* und vernichte mit der Hand, einem Pinsel u. dgl. die etwa auftretenden seitlichen Schwingungen.

Lies unter Benutzung des Spiegels die Gleichgewichtstellung des Zeigers ab.

d) Vermehre die Belastung der Reihe nach um 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 und 50 gr* und lies jedesmal die Zeigerstellungen ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . Feder Nr. . . . Masse der Feder $m' = \ldots$ [gr]. Masse der Wageschale $m'' = \ldots$ [gr].

	Belastungszulagen gr*	Zeigerstellungen cm		Verlängerungen der Feder in cm
Summe			Summe	. . . .

f) Zähle alle Belastungszulagen und alle Verlängerungen zusammen und berechne aus beiden Summen die mittlere Belastungszulage, die eine Verlängerung von 1 cm hervorruft. Wie groß ist die in Dyne gemessene Kraft, die die Feder um ein Zentimeter verlängert, d. h. die Kraftkonstante k_1 Dyne/cm?

g) Belaste die Feder im ganzen mit 50 gr* und bestimme dreimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer τ_1 der Feder.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Feder Nr. . . . Schwingende Masse $m_1 = \ldots$ [gr].

Anzahl der Schwingungen N_1	Zeit t_1 der Schwingungen min sek	sek	Schwingungsdauer $\tau_1' = t_1/N_1$	Mittlere Schwingungsdauer τ_1	Kraftkonstante k_1

2. Feder Nr. . . . Schwingende Masse $m_2 = \ldots$ [gr].

Anzahl der Schwingungen N_2	Zeit t_2 der Schwingungen min sek	sek	Schwingungsdauer $\tau_2' = t_2/N_2$	Mittlere Schwingungsdauer τ_2	Kraftkonstante k_2	τ_1/τ_2	k_2/k_1

i) Bestimme wie in (a) bis (f) die Kraftkonstante k_2 der Messingfeder, belaste sie jedoch nur bis 60 gr*. Wähle dann eine so große

Belastung, daß die schwingende Masse ebenso groß wird wie bei Versuch (g) und bestimme wie dort die Schwingungsdauer τ_2 der Messingspirale.

k) Berechne die Verhältnisse τ_1/τ_2, k_2/k_1, k_1/k_2, τ_1^2/τ_2^2, k_2^2/k_1^2 und k_1^2/k_2^2 und vergleiche sie miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer τ und der Kraftkonstanten k? Fasse die Ergebnisse dieser und der vorigen Aufgabe zusammen.

Bemerkungen. Anstatt durch die Aufgaben 1 bis 3 die Beziehung $\tau^2 \sim m/k$ finden zu lassen, kann man auch durch Rechnung und durch Demonstrationen die Gleichung $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ ableiten und diese dann dadurch bestätigen, daß man wie oben die Kraftkonstante der Feder aus Stahldraht mißt, dann die Feder mit 40, 60 und 80 gr* belastet und jedesmal die Schwingungsdauer bestimmt. Über die Berücksichtigung der Federmasse vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 2.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgaben 1, 2 und 4 behandeln.

4. Aufgabe. *Bestimme mit einer schwingenden Spiralfeder die Masse eines Körpers.*

(1 Schüler, $^3/_4$ Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu: Masse von $\sim$ 50 gr. Wage.

Anleitung. **a)** Hänge an das Gestell die Spirale und daran die kleine Wageschale. Lege den Körper, dessen Masse zu bestimmen ist, auf die Schale und lies die Gleichgewichtstellung des Zeigers ab. Bestimme aus 100 Schwingungen die Schwingungsdauer τ_0 der Feder.

b) Entferne den Körper, lege an seine Stelle so viel Gewichtstücke, daß die Feder ebenso stark wie vorher gestreckt wird, und bestimme die Schwingungsdauer τ.

c) Entferne Gewichte, wenn $\tau > \tau_0$ ist, und lege noch Gewichte hinzu, wenn $\tau < \tau_0$ ist. Ermittele so eine Masse m_1, deren Schwingungsdauer τ_1 ein klein wenig kürzer als τ_0 ist, und eine Masse m_2, deren Schwingungsdauer τ_2 ein klein wenig länger als τ_0 ist.

d) Berechne aus m_1, m_2, τ_0, τ_1 und τ_2 die Masse m, deren Schwingungsdauer mit der des Körpers übereinstimmt.

Bemerkungen. Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und die Aufgaben 1 und 2 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

5. Aufgabe. *Wie groß ist der Elastizitätsmodul einer Kautschukschnur, die Längsschwingungen macht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Kelsey *59 Nr. 38.*

Geräte. Runde Kautschukschnur von 1,5 bis 3 mm Durchmesser. | Meterstab. Mikrometerschraubenlehre.

Geräte. Leichte Wageschale. | Gewichtsatz.
Wage. | Stechuhr.

Anleitung. **a)** Wäge die Schnur und die Schale. Klemme das eine Ende der Schnur fest ein, so daß diese lotrecht hinabhängt. Miß mit dem Maßstab die Länge (l cm) und mit der Mikrometerschraubenlehre den Durchmesser (d cm) der Schnur. Befestige die Schale an deren unterm Ende.

b) Lege der Reihe nach 10, 20, 30, 40 und 50 gr* auf die Schale und bestimme aus der Zeit von 20 oder mehr Schwingungen die Schwingungsdauer τ.

c) Bezeichnet m die Masse der Schale, der Belastung und des dritten Teiles der Schnur und k die Kraftkonstante der Schnur, so wird $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$. Bedeutet $[E]$ Dyne/cm² den Elastizitätsmodul, p Dyne/cm² die Spannung, F Dyne die Belastung, e die Dehnung, λ cm die Längenänderung und q cm² den Querschnitt der Schnur, so ist nach dem Hookeschen Gesetz $p = [E]\,e$ oder, da $p = F/q$ und $e = \lambda/l$, $F/q = [E]\,\lambda/l$ und $k = F/\lambda = [E]\,q/l$, also, wenn r cm den Halbmesser der Schnur bezeichnet, $k = [E]\cdot\pi r^2/l$. Mithin ist

$$\tau^2 = 4\pi^2 m l/\pi r^2 [E]$$

und

$$[E] = 4\pi \frac{m l}{\tau^2 r^2}.$$

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Länge der Schnur $l = \ldots$ [cm]. Durchmesser der Schnur $d = \ldots$ [cm]. Halbmesser der Schnur $r = \ldots$ [cm]. Masse der Schnur $= \ldots$ gr. Masse des dritten Teiles der Schnur $m' = \ldots$ [gr]. Masse der Schale $m'' = \ldots$ [gr].

Masse auf der Schale m''' gr	Schwingende Masse $m = m' + m'' + m'''$	Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t min sek	sek	Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$ [sek]	$[E]$

Bemerkung. Die Ergebnisse stimmen meist nicht gut überein.

6. Aufgabe. *Gilt die Formel $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ auch für schwingende Flüssigkeiten?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. F. C. G. Müller, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 2, 118; 1889 und Techn. d. phys. Unterr. 80.* K. Noack, *Aufgaben 29 Nr. 32.*

Geräte. Röhre. | Mensur bis 100 cm³.
Bunsengestell. | Klebpapier.
Wage. | Maßstab.
Gewichtsatz. | Kautschukschlauch.

Geräte. Quetschhahn. | 2 Bechergläser.
Lot. | Stechuhr.

Anleitung. a) Spanne in das Gestell die U-Röhre lotrecht ein, fülle sie bis $\sim$ 1 cm unter dem obern Rand mit Wasser, markiere den untern Rand der Kuppen und laß dann 100 cm³ ausfließen. Markiere wiederum den untern Rand der Kuppen und miß in beiden Schenkeln die Niveausenkungen l_1 und l_2 cm. Die Länge der ausgeflossenen Wassersäule ist $2l = l_1 + l_2$, ihre Masse $m' = 100$ [gr] und ihr Gewicht $F = 100 \cdot 981$ [Dyne]. Bei den Schwingungen der Wassersäule ist also die Kraftkonstante $k = 100 \cdot 981/l$ [Dyne/cm].

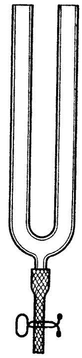

Fig. 143.

b) Bestimme die Kraftkonstante dreimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

c) Wäge in einem austarierten Becherglas $m = 100$ [gr] Wasser ab, gieß es in die U-Röhre, markiere den Stand und versetze die Flüssigkeit durch schwaches taktmäßiges Hin- und Herbewegen der Röhre in Schwingungen. Blase mit einem reinen Kautschukschlauch von Zeit zu Zeit in den einen Schenkel, um die Schwingungsbewegung aufrecht zu erhalten. Bestimme dreimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Röhre Nr. . . .

Ausgeflossene Wassermenge m' cm³	Niveausenkung links l_1 cm	Niveausenkung rechts l_2 cm	Länge der ausgeflossenen Wassersäule $2l = l_1 + l_2$	Gewicht des ausgeflossenen Wassers $F = m'g$ [Dyne]	Kraftkonstante $k = F/l$ [Dyne/cm]
				Mittel	. . . .

Schwingende Wassermasse $m = \ldots$ [gr].

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t min sek	Schwingungszeit t sek	Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer τ	τ^2	$4\pi^2 \frac{m}{k}$	$\tau^2 - 4\pi^2 m/k$
						Mittel	. . . . . .

Bemerkungen. Die U-Röhre (Fig. 143) ist mit einem Stutzen versehen, der mit Kautschukschlauch und Quetschhahn verschlossen wird. Die Schenkel sind 30 cm lang und mindestens 2 cm weit. Die Schwingungen kann man auch auf folgende Weise erzeugen: Man neigt die Röhre, verschließt mit der Hand den untern Schenkel, richtet das Gefäß wieder auf und nimmt dann die Hand weg. Es fällt den Schülern schwer, die Schwingungen hinreichend lange aufrecht zu erhalten. Benutzt man zum Blasen einen Kautschukschlauch, so muß man sich hüten, Speichel hineinfließen zu lassen.

7. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Länge, der Dicke und der Schwingungszahl eines schwingenden Stabes?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Gregory-Simmons *1, 132 Nr. 81.* Watson, *Elem. Pract. Phys. 113 Nr. 88, 114 Nr. 89.*

Geräte. Holzstab.
Stahlstreifen (62 cm × 0,8 cm × 0,06 cm).
Stricknadel.
Zwinge mit Feilkloben.
Metronom oder Stechuhr.
Kreide.
Millimeterpapier.

Anleitung. a) Befestige im Feilkloben das eine Ende des Holzstabes so, daß dessen schmale Seite wagerecht liegt (Fig. 144). Ziehe unter der Gleichgewichtlage des Stabes mit Kreide einen Strich auf dem Tisch. Stelle das Metronom so ein, daß es Sekunden schlägt. Ziehe das freie Ende des Stabes etwas zur Seite und laß es los. Klopfe, sobald der Stab genau mit dem Schlage des Metronoms über den

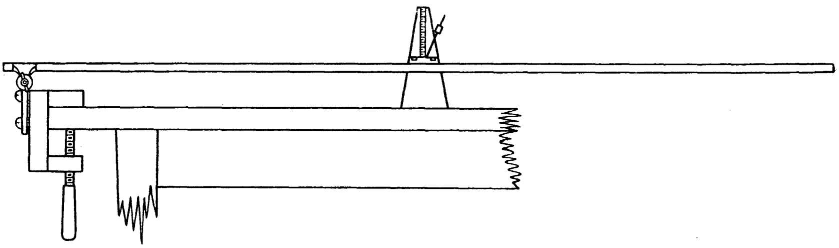

Fig. 144.

Strich hinweggeht, mit dem Bleistift gegen den Heftdeckel und zähle leise von nun an möglichst viele volle Schwingungen (Durchgänge von derselben Seite her). Klopfe, wenn nun wiederum der Stab von derselben Seite her mit dem Schlage des Metronoms über den Strich hinweggeht, von neuem mit dem Bleistift gegen den Heftdeckel. Der Mitarbeiter sagt bei dem ersten Klopfen Null und zählt leise von da ab alle Metronomschläge bis zu dem zweiten Klopfen. Berechne aus der beobachteten Zahl N der Schwingungen und der Schwingungszeit die Schwingungszahl $n = N/t$.

b) Ändere die Schwingungsweite und prüfe, ob die Schwingungszahl von der Schwingungsweite abhängt, wenn diese klein ist.

c) Miß möglichst genau die Länge und die Dicke des schwingenden Stabteiles. Unter der Dicke versteht man die Abmessung in der Schwingungsrichtung. Bestimme die Schwingungszahl aus drei Messungen und nimm daraus das Mittel.

d) Verkürze den schwingenden Teil ein wenig und miß die Länge und die Schwingungsdauer.

e) Wiederhole die Messungen für zwei andere Längen, bei denen die Schwingungen noch nicht so rasch sind, daß man sie nicht mehr genau zählen kann.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Dicke $d = \ldots$ cm.

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n' = N/t$	Mittlere Schwingungszahl n	n^2	Länge des schwingenden Stabteiles l cm	l^2	$n^2 l$	$n l^2$

g) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei das eine Mal $x = l$ und $y = \tau^2 = 1/n^2$ und das andere Mal $x = l^2$ und $y = \tau = 1/n$. Prüfe, ob wie beim Pendel $n^2 l$ stets den gleichen Wert hat, und wenn nicht, ob dies bei $n l^2$ der Fall ist.

h) Wiederhole den Versuch (a) und drehe dann den Stab, ohne seine Länge im geringsten zu ändern, um 90^0, so daß seine breite Seite wagerecht liegt, miß sehr genau die Dicke und bestimme aus drei Beobachtungssätzen die mittlere Schwingungszahl.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Länge des schwingenden Stabteiles $l = \ldots$ cm.

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n' = N/t$	Mittlere Schwingungszahl n	Stabdicke d	Verhältnis der Schwingungszahlen n_1/n_2	Verhältnis der Dicken d_1/d_2

k) Wie verhalten sich bei gleichen Längen die Schwingungszahlen zu den Stabdicken? Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungszahl, der Länge und der Dicke eines Stabes?

l) Wiederhole die Versuche (a) bis (g) mit einem Stahlstreifen und mache dabei die schwingenden Teile 60, 50, 40 und 30 cm lang. Halte bei diesen Versuchen den Teil des Streifens fest, der rückwärts aus den Backen des Klobens hervorragt. Welche Beziehung besteht zwischen der Länge und der Schwingungszahl eines Stahlstabes?

m) Verkürze die Stahlstreifen noch weiter und prüfe, ob die

Schwingungen schneller oder langsamer werden, und ob Töne zu hören sind.

n) Klemme eine Stricknadel so zwischen die Backen des Klobens, daß sie 15 cm hervorragt. Ziehe dieses Ende seitwärts und laß es los. Hört man einen Ton? Sieht man das Ende der Nadel schwingen? Halte den Fingernagel eben gegen das freie Ende der Nadel. Berühre das freie Ende der Nadel mit dem Finger und vernichte so die Schwingungen. Verstummt der Ton?

o) Verkürze den Teil der Nadel, der aus dem Kloben herausragt und bringe ihn durch Zupfen zum Schwingen. Ist der Ton höher als vorher? Welche Beziehung besteht zwischen der Häufigkeit der Schwingungen, die durch die Schwingungszahl gemessen wird, und der Höhe des entstehenden Tones?

Bemerkungen. Der Stab besteht aus trockenem astfreien Kiefernholz (1,83 cm $\times$ 1,2 cm $\times$ 0,6 cm).

Diese Aufgabe läßt man mit Vorteil erst bei der Behandlung des Schalles lösen. Man kann die Versuche (a) bis (g) von einem Teil der Gruppen und die Versuche (l) bis (o) von den übrigen Gruppen ausführen lassen. Die Ergebnisse der Versuche (h) bis (k) befriedigen meist wenig. Es ist zwar wissenschaftlich besser, die Schwingungszahl n einzuführen und die Unveränderlichkeit von nl^2 festzustellen, doch im Unterricht wirkungsvoller, die Schwingungsdauer τ zu bestimmen und die Beständigkeit von τ/l^2 nachzuweisen.

Bei den Versuchen (n) und (o) ermahne man die Schüler zur Vorsicht, damit niemand durch die umherfliegenden Stücke zerspringender Nadeln verletzt wird.

8. Aufgabe. *Gilt für die Schwingungen eines Stabes auch die Beziehung $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Noack, *Aufgaben 16 Nr. 17 und 28 Nr. 30.*

Geräte.

Stahlstreifen (70 cm $\times$ 2 cm $\times$ 0,1 cm).	Garn.
Zwinge.	Schere.
Holzklötze.	Spiegelmaßstab.
Schemel.	Noacks Diopter.
20 kg*-Stück.	Bunsengestell mit Haken.
Leichte Wageschale (Pillenschachtel mit 3 Zwirnfäden).	Wage.
Kleine Haken.	Gewichtsatz.
Klebwachs.	Geschlitzte Blei- oder Messingscheiben von 10 bis 100 gr.
	Stechuhr.

Anleitung. a) Lege den Stahlstreifen flach zwischen zwei Holzklötze und klemme diese mit der Schraubenzwinge am Rande des Schemels fest, der mit einem 20kg*-Stück belastet wird. Befestige am freien Ende des Stabes mit einer einfachen Fadenschleife und etwas Klebwachs einen kleinen Haken und hänge an diesen Noacks Diopter und daran die Wageschale (Fig. 145). Lies am Maßstab die Gleichgewichtstellung n'_0 des Diopterstriches ab.

b) Belaste die Schale der Reihe nach mit $F = 1, 2, 3 \ldots 10$ [gr*] und lies jedesmal auf dem Maßstab die Einstellung n' des Diopters ab.

c) Entlaste die Schale in Stufen von je 1 gr* und lies jedesmal die Einstellung n'' des Diopters ab.

d) Bestimme nochmals die Gleichgewichtsstellung n''_0 der unbelasteten Schale.

e) Nimm aus den zusammengehörigen Werten der Nadeleinstellungen das Mittel n und bestimme die Senkungen $h = n - n_0$ des

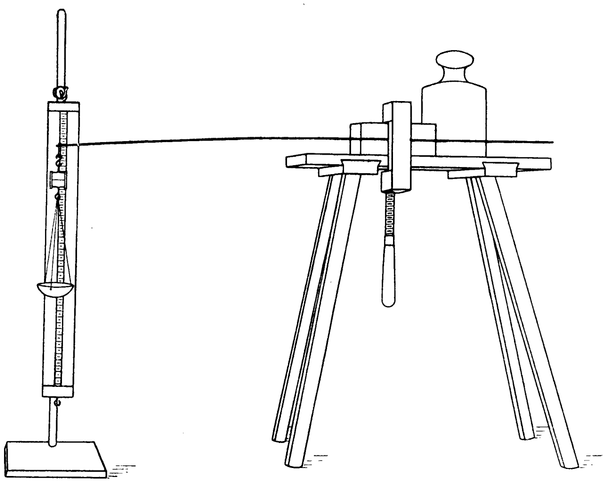

Fig. 145.

Stabendes. Berechne aus der Summe der Senkungen und der Summe der Belastungen wie in Aufgabe 3 (f) S. 192 die Kraftkonstante $k' = F/h$ [gr*/cm], gemessen durch die Anzahl Grammgewichte, die das Stabende um 1 cm senken, und daraus die Kraftkonstante $k = k'g$ [Dyne/cm].

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stahlstreifen Nr. . . .

Gleichgewichtslagen des unbelasteten Stabes $n_0' = \ldots$ [cm]. $n_0'' = \ldots$ [cm].

$n = {}^1/_2\,(n_0' + n_0'') = \ldots$ [cm].

	Belastung F gr*	Nadeleinstellungen in cm n'	n''	Mittel n	Senkungen $h = n - n_0$
Summe	. . . .			Summe	. . . .

$k' = \ldots$ [gr*/cm]. $k = \ldots$ [Dyne/cm].

g) Nimm die Wageschale ab und schiebe auf das freie Ende des Stabes eine Anzahl Bleischeiben, deren Masse m gr ist, und befestige sie mit etwas Klebwachs. Stelle dicht hinter dem freien Ende des Stahlstreifens einen Maßstab auf und markiere mit einer hineingesteckten Nadel oder einem aufgeklemmten Drahtbügel die Gleichgewichtlage des Stabes. Versetze den Stahlstreifen in kleine lotrechte Schwingungen und bestimme die Zeit t von 50 oder 100 vollen Schwingungen. Berechne daraus die Schwingungsdauer. Wiederhole die Messungen noch zweimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel τ.

h) Bestimme die Masse m durch Wägung.

i) Prüfe, ob die erhaltenen Werte von m, k und τ die Gleichungen $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ befriedigen.

Bemerkungen. Statt Noacks Diopter kann man auch die Ersatzvorrichtungen, die in Aufg. 1 S. 38 angegeben sind, benutzen, oder in die Schachtelwand an zwei gegenüberliegenden Stellen je eine Nadel einstecken oder am Boden mit etwas Klebwachs eine kurze steife Borste befestigen. Bringt man den Zeiger an der Schachtel an, so muß man die Gewichte mit großer Sorgfalt auf die Mitte des Bodens setzen. Bequemer ist ein Hakengewicht mit aufschiebbaren geschlitzten Scheiben.

9. Aufgabe. *Vergleiche die Richtkräfte verschiedener Drähte miteinander.*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.

Federharter Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Drillscheibe.
Harter Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Klemmschraube.
Zwinge mit Feilkloben.	Beißzange.
	Feder oder Pinsel.

Anleitung. a) Bei Drillschwingungen hängen das Trägheitsmoment K, die Richtkraft D und die volle Schwingungsdauer τ durch die Gleichung

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{D}$$

zusammen. Wir benutzen erst ein Drahtstück von 100 cm Länge; es ist die Schwingungsdauer τ_1, die Richtkraft D_1 und das Trägheitsmoment K. Dann verwenden wir ein Stück desselben Drahtes von 50 cm Länge; es ist nun die Schwingungsdauer τ_2, die Richtkraft D_2 und das Trägheitsmoment wiederum K. Wir haben daher

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2}.$$

b) Schraube die Zwinge so an den Wandgalgen, wie dies Fig. 125 zeigt, klemme das obere Ende des Messingdrahtes zwischen die Backen des Klobens und befestige am untern Ende mit der Klemme die Drillscheibe (Fig. 146). Passe dabei die Länge des Drahtes so ab, daß zwischen den beiden Klemmen genau 100 cm eingespannt sind. Stelle, sobald das Drillpendel zur Ruhe gebracht ist, dem Zeigerstrich auf der Scheibe gegenüber ein Papier mit einem Strich so auf, daß beide Striche in einer Geraden liegen. Den Strich auf dem Papier wollen wir die Gleichgewichtmarke nennen.

c) Drehe die Scheibe um 90^0 und laß sie los. Hemme durch Berühren des Drahtes mit der Hand, einer Feder oder einem Pinsel die etwa auftretenden Pendelschwingungen.

d) Bestimme die Schwingungsdauer τ_1 auf folgende Weise: Klopfe, sobald der Scheibenzeiger an der Gleichgewichtmarke von links nach rechts vorübergeht, mit dem Blei scharf auf den Heftdeckel. Der Mitarbeiter, der die Uhr beobachtet, liest bei diesem Zeichen die Zeit in Minuten und Sekunden ab, schätzt dabei noch die Zehntelsekunden und schreibt diese Zeitbestimmung auf. Beobachte auf die gleiche Weise die Zeiten der folgenden fünf Durchgänge. Nimm aus dem 3. und 4., dem 2. und 5. und dem 1. und 6. Zeitpunkt das Mittel und aus den so erhaltenen drei Mitteln das Hauptmittel. Warte nach dem sechsten Durchgang $\sim$ 5 Minuten und bestimme wieder die Zeitpunkte von sechs aufeinander folgenden Durchgängen, von denen der erste wiederum von links nach rechts erfolgen muß. Berechne wie beim ersten Satz der Durchgangszeiten die Mittel und daraus das Hauptmittel.

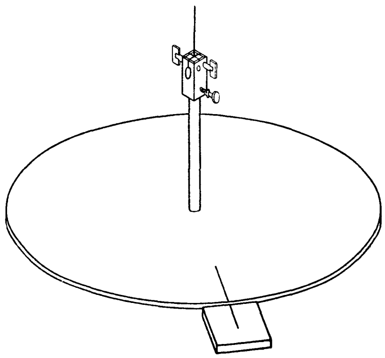

Fig. 146.

Schreibe die Beobachtungen in folgender Weise auf:

1. Satz.

Durchgang	Zeit min sek	Mittel	
1			min sek
2			
·		3·4	
·		2·5	
6		1·6	
Hauptmittel			

2. Satz.

Durchgang	Zeit min sek	Mittel	
1			min sek
2			
·		3·4	
·		2·5	
6		1·6	
Hauptmittel			

Der Unterschied der aus beiden Beobachtungssätzen erhaltenen Hauptmittel, geteilt durch die Anzahl der zwischen ihnen verflossenen vollen Schwingungen, gibt die Schwingungsdauer. Die vollen Schwingungen werden nicht gezählt, sondern mit einem angenäherten

Wert der Schwingungsdauer berechnet. Bestimme aus dem 1. und 2. Zeitpunkt des ersten Satzes von Beobachtungen den Zeitpunkt des 1. Umkehrpunktes und aus dem 5. und 6. Zeitpunkt desselben Satzes den 5. Umkehrpunkt. Der Zeitunterschied zwischen dem 5. und 1. Umkehrpunkt ist gleich der Dauer von zwei vollen Schwingungen. Hieraus berechnet man einen angenäherten Wert der vollen Schwingungsdauer in Sekunden. Teilt man den in Sekunden ausgedrückten Unterschied der Hauptmittel durch die angenäherte Schwingungsdauer, so ist die ganze Zahl, die dem Quotienten am nächsten liegt, die Anzahl der vollen Schwingungen zwischen den beiden Hauptmitteln.

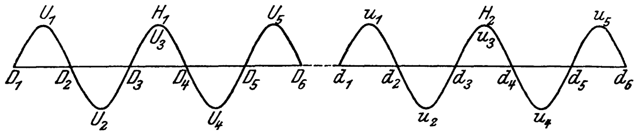

Fig. 147.

An der graphischen Darstellung Fig. 147, in der D_ν und d_ν die Durchgänge des ersten und zweiten Satzes, U_ν und u_ν die Umkehrpunkte und H_1 und H_2 die Hauptmittel darstellen, kann man sich das Rechnungsverfahren klar machen.

e) Drehe die Drillscheibe um 180° und verfahre wie bei (c) und (d). Ist die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite abhängig?

f) Verkürze den Draht genau auf die Länge 50 cm und bestimme wie bei (d) die Schwingungsdauer τ_2. Wie ändert sich die Richtkraft des Drahtes mit der Länge?

g) Ersetze den Messingdraht durch einen gleich starken Kupferdraht von genau 100 cm Länge und bestimme wie bei (d) die Schwingungsdauer τ_3. Wie verhalten sich die Richtkräfte gleich großer Drähte aus Messing und Kupfer?

Bemerkungen. Die Drillscheibe ist aus Zink gefertigt. Sie hat einen Durchmesser von 25 cm und eine Masse von 1000 gr. In der Mitte ist ein 5 cm langer Stift befestigt und auf der Oberseite am Rande ein radialer Strich als Marke eingeritzt. Ferner ist auf der obern Fläche ein konzentrischer Kreis eingeschnitten, dessen Durchmesser so groß wie der äußre Durchmesser des Drillringes ist (vgl. S. 158).

Guter Messingdraht ist nicht immer leicht zu beschaffen, ebenso gut, wenn nicht besser, ist Konstantandraht.

Ist der Galgen zu hoch, so klemmt man in den Kloben der Zwinge einen Stab fest, der unten eine Befestigungsklemme trägt. Man kann dann stets die Drillscheibe in die bequemste Arbeitshöhe bringen.

Es empfiehlt sich nicht, bei Schülerübungen die Abhängigkeit der Richtkraft vom Durchmesser des Drahtes oder vom Torsionsmodul nach dem Schwingungsverfahren zu bestimmen, da hierzu die sehr genaue Bestimmung der Drahtdicke erforderlich ist. Diese könnte man allenfalls durch Wägung ermitteln.

Über die Bestimmung der Schwingungsdauer vergleiche Kohlrausch [10] *114.* Sabine *26 Nr. 17.* Watson, *Textbook of Pract.*

Phys. 107 Nr. 43. Will man das genaue Verfahren zur Bestimmung der Schwingungsdauer nicht anwenden, so ermittele man sie aus der Zeit von 25 vollen Schwingungen.

10. Aufgabe. *Wie groß ist das Trägheitsmoment der Drillscheibe und die Richtkraft des Aufhängedrahts?*

Wie groß ist das Trägheitsmoment eines Stabes mit kreisförmigem Querschnitt, bezogen auf den Kreisdurchmesser?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, dazu: Drillring (vgl. Teil 2 B, Aufgabe 7, S. 158). Messingstab. | Wage. Gewichtsatz. Maßstab. Schublehre.

Anleitung. a) Hänge die Drillscheibe an einen genau 100 cm langen Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser und bestimme wie in Aufgabe 9 die Schwingungsdauer τ_1.

b) Lege den Drillring auf die Scheibe, hänge diese wieder an dem 100 cm langen Messingdraht auf, rücke den Ring sorgfältig so,

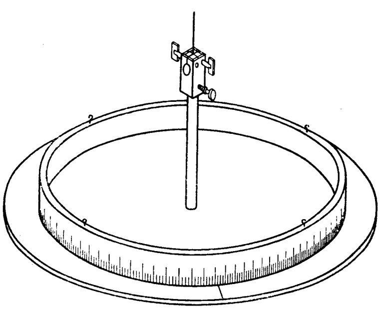

Fig. 148.

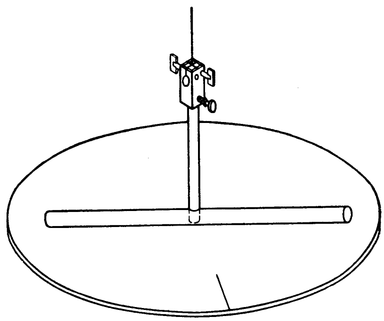

Fig. 149.

daß der Draht durch seinen Mittelpunkt geht (Fig. 148) und bestimme die Schwingungsdauer τ_2.

c) Ist K_1 das Trägheitsmoment der Scheibe, K_2 das Trägheitsmoment des Ringes und D die Richtkraft des Drahtes, so gelten die Gleichungen:

$$\tau_1^2 = 4\pi^2 \frac{K_1}{D} \quad \text{und} \quad \tau_2^2 = 4\pi^2 \frac{K_1 + K_2}{D} \quad . \quad . \quad (1)$$

Es ist also

$$\frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} = \frac{K_1}{K_1 + K_2}$$

und mithin

$$K_1 = \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2 - \tau_1^2} K_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

d) Bestimme durch Wägung die Masse m_2 des Ringes. Miß den äußern Durchmesser und die Breite des Ringes und ermittele daraus seinen äußern Halbmesser r_1 und seinen innern Halbmesser r_2. Berechne das Trägheitsmoment des Ringes bezogen auf die Achse

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 (r_1^2 + r_2^2).$$

Setze diesen Wert in die Gleichung (2) ein und berechne daraus das Trägheitsmoment K_1 der Scheibe und Klemme und aus der ersten der Gleichungen (1) die Richtkraft des Drahtes.

e) Entferne den Ring und schiebe den Messingstab auf den Stift der Scheibe (Fig. 149, S. 203). Bestimme durch Beobachtung der Schwingungsdauer τ_3 das Trägheitsmoment des Stabes. Bestimme durch Wägung die Masse m_3 des Stabes und vergleiche den aus der Schwingungsdauer hergeleiteten Wert K_3 mit dem nach der Formel

$$K_3 = m_3 \left(\frac{1}{12} l_3^2 + \frac{1}{4} r_3^2 \right)$$

berechneten Wert, wo r_3 den Halbmesser und l_3 die Länge des Stabes bezeichnet.

Bemerkung. Der Messingstab, der in der Mitte senkrecht zur Längsachse durchbohrt ist, hat 1 cm Durchmesser und 20 cm Länge.

11. Aufgabe. *Wie hängt das Trägheitsmoment eines Körpers von den Massen der einzelnen Teile und deren Entfernungen von der Drehachse ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Bower-Satterly *104 Nr. 80.*

Geräte. Drillstab (vgl. S. 206).
2 Bleireiter von 500 gr.
2 Bleireiter von 1000 gr.
Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser.
Unterlegklötze.
Feder oder Pinsel.

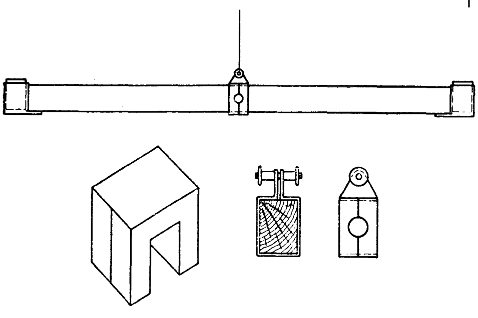

Fig. 150.

Anleitung. a) Befestige die Hülse genau in der Mitte des Stabes, von dem sämtliche Massen entfernt worden sind, hänge den Stab am Stahldraht auf und drehe ihn um ~ 10 bis 15° (Fig. 150). Laß ihn los und hemme etwa auftretende Pendelschwingungen durch Berühren des Drahtes mit der Hand, einer Feder oder einem Pinsel. Bestimme aus der Zeit t_0 sek für 10 oder 12 volle Schwingungen die Schwingungsdauer τ_0 des unbelasteten Stabes.

b) Lagere das Drillpendel auf Unterlegklötze, schiebe auf jeden Arm des Stabes einen Bleireiter von 500 gr so, daß deren Mitten vom Draht um 7,5 cm abstehen und miß die Schwingungsdauer τ_1 des belasteten Drillstabes.

c) Mache den Abstand der Bleireiter vom Draht 15 cm groß und bestimme die Schwingungsdauer τ_2.

d) Verschiebe die Bleireiter so, daß ihr Abstand vom Draht 22,5 cm wird und miß die Schwingungsdauer τ_3.

e) Ersetze die Bleireiter von 500 gr durch solche von 1000 gr Masse, gib ihren Mitten erst 7,5 und dann 15 cm Abstand vom Draht und bestimme die Schwingungsdauern τ_4 und τ_5.

f) Der unbelastete Drillstab hat die Schwingungsdauer τ_0 und das Trägheitsmoment K_0. Hat der Draht die Richtkraft D, so ist

$$\tau_0^2 = 4\pi^2 \frac{K_0}{D}.$$

Belasten wir den Stab ebenmäßig mit zwei Massen, die in bezug auf die Drehachse das Trägheitsmoment K_ν haben, so wird die Schwingungsdauer τ_ν, und es ist

$$\tau_\nu^2 = 4\pi^2 \frac{K_0 + K_\nu}{D}$$

oder

$$\tau_\nu^2 - \tau_0^2 = 4\pi^2 \frac{K_\nu}{D}.$$

Wir erhalten mithin

$$\frac{K_\nu}{K_1} = \frac{\tau_\nu^2 - \tau_0^2}{\tau_1^2 - \tau_0^2}.$$

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Drillstab Nr. . . .
Masse des Drillstabes $m_0 = \ldots$ [gr].
Massen der Bleistücke: $m_1 = \ldots$ [gr]. $m_2 = \ldots$ [gr].
$m_3 = \ldots$ [gr]. $m_4 = \ldots$ [gr].
Anzahl der Schwingungen des unbelasteten Stabes $N_0 = \ldots$
Schwingungszeit $t_0 = \ldots$ [sek]. Schwingungsdauer $\tau_0 = \ldots$ [sek].

ν	Anzahl der Schwingungen N_ν	Schwingungszeit t_ν		Schwingungsdauer $\tau_\nu = t_\nu / N_\nu$	τ_ν^2	$\tau_\nu^2 - \tau_0^2$	$\frac{K_\nu}{K_1} = \frac{\tau_\nu^2 - \tau_0^2}{\tau_1^2 - \tau_0^2}$
		min sek	sek				

h) Wie ändert sich das Trägheitsmoment, wenn man bei gleichem Abstand die Masse verdoppelt? Wie ändert sich das Trägheitsmoment, wenn man die Masse in die doppelte oder dreifache Entfernung schiebt?

Bemerkungen. Das Drillpendel (Fig. 150) besteht aus einem Holzstab, der 55 cm lang, 2,5 cm breit und 3,5 cm hoch ist. Seine Mitte ist durch einen Strich bezeichnet. Der Stab wird mit einem Messingschiffchen aufgehängt, das wie in der Figur gebogen ist. Die Mitte des Schiffchens ist durch einen Strich bezeichnet und mit einem Ausschnitt versehen. Man kann also die Hülse genau ebenmäßig auf dem Stabe befestigen. Durch die obern Enden des Schiffchens führt eine Schraube, die an jedem Ende eine Mutter trägt. Das Ende des Aufhängedrahtes legt man um die Schraube und zieht die Muttern ganz fest an.

An den Enden des Stabes sind zwei Becher aus Messingblech befestigt, die so groß sind, daß sie Zink- oder Eisenzylinder von 200 gr Masse gerade aufnehmen können. Die Becher tragen lotrechte Striche, die als Schwingungsmarken dienen. Die Gleichgewichtlage legt man mit zwei Nadeln, die man in einen Holzklotz steckt, oder mit dem Sehrohr fest. (Vgl. Teil 2 B, Aufg. 7, S. 158).

Die ∩-förmig gebogenen Bleireiter sind 5 cm breit und in der Mitte mit einem Strich versehen.

Crew und Tatnall *(47 Nr. 21)* benutzen als Drillstab eine leichte Stahlröhre von 30 cm Länge und 6 mm Durchmesser, als verschiebbare Massen durchlochte Blei- oder Messingscheiben von 1,3 cm Dicke und 5 cm Durchmesser und einen Drilldraht von solcher Länge und Stärke, daß die Schwingungsdauer 1 bis 5 Sekunden beträgt. Sie schieben anfangs beide Scheiben nach der Mitte und vergrößern dann jedesmal den Abstand der Innenflächen um 2 cm. Sie berechnen die Schwingungsdauern aus den Zeiten für 10 bis 20 Schwingungen und machen eine graphische Darstellung, bei der sie den Abstand der Masse von der Drehachse als Abszisse und die Schwingungsdauer als Ordinate wählen.

Ein andres schönes Verfahren, das auch für Schülerübungen geeignet ist, hat M. Koppe *(Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 5, 8; 1891)* beschrieben.

12. Aufgabe. *Bestimme mit dem Drillstab die Masse eines Körpers.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Coleman *65 Nr. 20.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11, doch ohne Bleireiter; dazu:
Schrot.
Löffel.
2 Zinkzylinder von 200 gr, die gerade in die Becher passen.
Becherglas.
Wage.
Gewichtsatz.

Anleitung. a) Hänge das Drillpendel wie in Aufg. 11 auf.

b) Setze die Zinkzylinder in die Becher ein und bestimme die Schwingungsdauer τ_0.

c) Nimm die Zinkzylinder heraus und fülle die Becher ebenmäßig etwa zur Hälfte mit Schrot. Bestimme die Schwingungsdauer. Setze Schrot zu, wenn sie kleiner als bei Versuch (b) ist, und entferne Schrot, wenn sie größer ist, doch achte stets darauf, daß beide Becher gleich voll sind. Ermittele auf diese Weise die Schrotmasse, wofür die Schwingungsdauer ebenfalls gleich τ_0 ist.

d) Schütte das Schrot in ein austariertes Becherglas, bedecke dabei den einen Becher, damit kein Korn verloren geht. Wäge das Schrot und die Zylinder. Haben beide gleiche Massen? *Unterschied* *von Masse und Gewicht. Trägheit der Körper bei fortschreitenden und drehenden Bewegungen. Kraft und Masse. Drehmoment und Trägheitsmoment.*

13. Aufgabe. *Bestimme mit einem schwingenden Stahlstab die Masse eines Körpers.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. ABRAHAM *1, 108 Nr. 71.*

Geräte. Stahlstab. Zwinge mit Feilkloben. 500 gr-Stück aus Eisen. 500 gr-Stück aus Messing. Bleischeiben von 100, 200, 200 und 500 gr. Klebwachs. Stechuhr. Drahtzeiger. Wage. Gewichtsatz. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Spanne die Stahlstreifen so zwischen die Backen des Feilklobens, daß die Glasscheibe wagerecht liegt, befestige darauf mit Klebwachs genau in der Mitte das eiserne 500 gr-Stück und bestimme möglichst genau die Schwingungsdauer (Fig. 151).

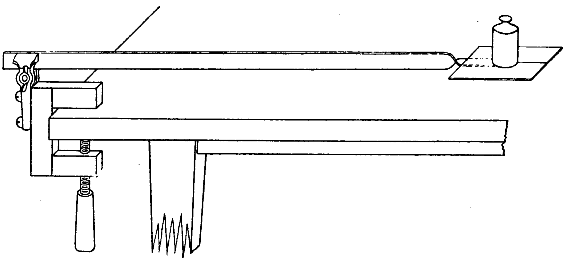

Fig. 151.

b) Ersetze das eiserne Gewicht durch ein Messinggewicht von 500 gr. Ist die Schwingungsdauer die gleiche wie vorher? Haben Körper von gleichem Gewicht auch gleiche Masse?

c) Belaste nun die Glasscheibe der Reihe nach mit Massen, von 100 gr an um 100 gr bis zu 1000 gr aufsteigend, und bestimme jedesmal die Schwingungsdauer.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Stahlstab Nr. . . .

Belastungsmasse m gr	Anzahl N der Schwingungen	Schwingungszeit t sek	Schwingungsdauer $\tau = t/N$	$\frac{\tau^2}{m}$

e) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei $x = m$ und $y = \tau^2$. Zeichne eine Gerade, die sich der erhaltenen Kurve möglichst anschmiegt.

f) Befestige irgend einen Körper auf der Mitte der Scheibe, bestimme die Schwingungsdauer und entnimm der graphischen Darstellung die Masse des Körpers.

g) Bestimme die Masse des Körpers mit der Wage und vergleiche sie mit dem vorher erhaltenen Wert.

Bemerkungen. Der Stahlstab (50 cm × 1,5 cm × 0,13 cm) ist am einen Ende ~ 6 cm lang rechtwinklig umgebogen. Auf diesen Teil ist eine Glasscheibe (8 cm × 8 cm) aufgekittet, die mit einer Strichmarke versehen ist. Dauerhafter als die Glasplatte ist ein dünnes Holzbrettchen; es läßt sich auch besser am Stahlstreifen befestigen.

14. Aufgabe. *Besteht bei Seilwellen eine Beziehung zwischen der Schwingungszahl und der Wellenlänge und zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Belastung?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Stroud *189.*

Geräte. Stahlstreifen (30 cm × 1,8 cm × 0,075 cm). Zwinge mit Feilkloben. Kleine Haken. Gewichtsatz. Bindfaden verschiedener Stärke. Schere.

Anleitung. a) Befestige die Zwinge am Wandgalgen und klemme den Stahlstreifen so ein, daß ~ 10 cm herausragen und die breite Seite wagerecht liegt. Bind um den Streifen in ~ 2,5 cm Abstand von der Befestigungsstelle das eine Ende des Bindfadens fest, knüpfe am andern Ende eine Schleife und hänge mit einem Haken 15 gr daran. Miß die Länge l des Fadens. Biege das Ende des Streifens ein wenig nach unten und setze ihn so in lotrechte Schwingungen. Gerät der Faden auch in Schwingungen? Ändere, wenn dies nicht der Fall ist, die Länge des schwingenden Streifens, bis dieser den Faden in kräftige Querschwingungen versetzt. Zähle die Anzahl ν der Bäuche und berechne daraus die Wellenlänge $\lambda = 2l/\nu$. Bestimme die Schwingungszahl n' des Stahlstreifens. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungszahl n' des Streifens und der Schwingungszahl n des Fadens?

b) Belaste den Faden mit 60 gr* und wiederhole die Versuche (a).

c) Befestige jetzt die Zwinge so, daß die breite Seite des Stahlstreifens lotrecht steht und setze ihn in wagerechte Schwingungen. Ist diesmal die Schwingungszahl des Fadens ebenso groß wie vorher? Welche Beziehung besteht zwischen den Schwingungszahlen in den beiden Fällen? Wiederhole die Versuche (a) und (b).

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stahlstreifen Nr. . . . Länge des Fadens $l =$ . . . cm.

Anzahl N' der Schwingungen des Streifens	Schwingungszeit des Streifens t' sek	Schwingungszahl des Streifens $n' = N'/t'$	Schwingungszahl n des Fadens	Belastung des Fadens F gr*	Anzahl ν der Bäuche	Wellenlänge $\lambda = 2l/\nu$	Geschwindigkeit der Wellen $v = \lambda n$

e) Wie verhalten sich bei gleichen Belastungen die Schwingungszahlen des Fadens zu den Wellenlängen? Wie verhalten sich bei gleichen Schwingungszahlen des Fadens die Geschwindigkeiten zu den Belastungen?

f) Ersetze den Faden durch gleich lange dünnere und dickere Schnüre und prüfe, ob die Wellenlänge von der Masse der Längeneinheit abhängt und ob diese die Wellengeschwindigkeit beeinflußt.

Bemerkungen. Stroud benutzt ein „Stahllineal“ von den oben angegebenen Abmessungen. Ich konnte kein solches erhalten, da die jetzt im Handel befindlichen Lineale teils Einlagen teils Auflagen haben. Mit den Stahlstreifen, die ich benutzte, gelangen die Versuche nur schlecht.

Genauere Ergebnisse erhält man, wenn man statt des Stahlstreifens eine große Stimmgabel ($n = 30$ bis 60) mit elektrischem Antrieb verwendet, eine $\sim$ 3 m lange Packschnur wagerecht ausspannt und über eine Rolle führt.

15. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spiralfeder von der Länge ab, wenn das Verhältnis der Masse zur Belastung ungeändert bleibt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Ashworth *93 Nr. 4.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu:
Wage.
Volkmannsche Klemme.

Anleitung. **a)** Hänge die Feder auf und laß sie sich beruhigen. Erteile der Feder einen schwachen Stoß, der von unten nach oben gerichtet ist. Die Verdichtung laufe in t sek bis zum obern Ende der Spirale und wieder zurück bis zum untern Ende. Welche Beziehung besteht zwischen dieser Zeit t und der Schwingungsdauer τ der Spirale? $t = {}^1/_2\,\tau$. Wie lang müßte die Spirale sein, damit die Verdichtung sie in τ sek genau einmal durchliefe? $4l$. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge der Spirale? $\tau \sim l$.

b) Hänge an die Feder die Schale und belaste sie so stark (mit $\sim$ 80 gr*), daß die Feder höchstens zwei volle Schwingungen in der Sekunde macht. Bestimme dreimal aus den Zeiten für 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und berechne daraus den Mittelwert.

c) Klemme die mittlere Windung fest, so daß jetzt die Schale an der Hälfte der Federwindungen hängt, und entferne aus der Schale so viel Gewichte, daß die Summe aus dem sechsten Teil des Federgewichts und dem Gewicht der Schale nebst Belastung jetzt halb so groß wie vorher ist. Das von jedem Zentimeter der Federlänge getragene Gewicht ist jetzt ebenso groß wie vorher. Bestimme dreimal aus der Zeit für 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und berechne daraus den Mittelwert.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:
Feder Nr. . . . Schale Nr. . . .
Masse der Feder $m' = \ldots$ [gr]. $^1/_3\, m' = \ldots$ [gr].
Masse der Schale $m'' = \ldots$ [gr].

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer τ	Verhältnis der mittleren Schwingungsdauern τ_1/τ_2	Masse der Belastung m''' gr	Gesamtmasse $m = {}^1/_3\, m' + m'' + m'''$	Zahl der Windungen l	Verhältnis der Windungszahlen l_1/l_2
	min sek	sek							

Welche Beziehung besteht zwischen den Längen und den Schwingungsdauern der Feder?

e) Es sei λ cm die Länge einer Feder, durch die sich während τ sek eine Verdichtung fortpflanzt. Welche Beziehung besteht zwischen λ und l? $\lambda = 4l$. Wenn v cm/sek die Geschwindigkeit bezeichnet, mit der sich die Verdichtung durch die Spirale fortpflanzt, so ist

$$\lambda = v\tau.$$

Miß die Länge der Spirale und berechne aus l und τ die Geschwindigkeit v cm/sek.

Sechster Teil.

Schall.

I. Stimmgabel.

1. Aufgabe. *Wieviel Schwingungen macht eine Stimmgabel in einer Sekunde?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Hall, *Descript. List 67 Nr. 49, 91 Nr. 95 u. 96.*

Geräte. c_1-Stimmgabel aus Stahl ($n = 256$).
Schreibvorrichtung (vgl. S. 213).
Glasplatten (30cm × 5cm).
Metronom oder Stechuhr.
Spirituslampe, gefüllt mit Terpentinöl, dem etwas Alkohol zugefügt ist.
Borsten.
Klebwachs.
Anschlaghammer (vgl. S. 214).
Watte.
2 Bunsengestelle.

Anleitung. a) Stelle die Feder des Pendels so ein, daß es in der Sekunde $1^1/_2$ bis 2 volle Schwingungen macht (Fig. 152). Bestimme

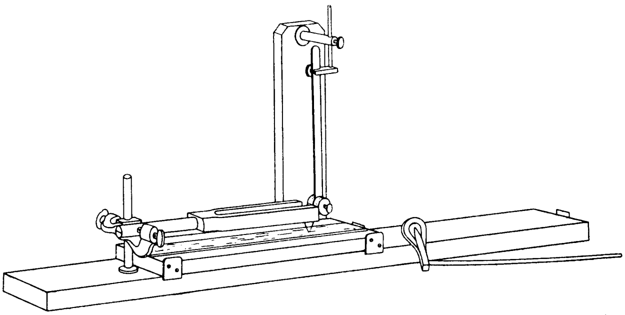

Fig. 152.

sorgfältig aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer. Wiederhole die Messung noch zweimal und nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

b) Befestige die Stimmgabel so in der Klemme, daß die Ebene, die durch die Zinkenachse geht, wagerecht steht. Lege die Glasplatte auf den Schlitten und befestige mit etwas Klebwachs an der einen Zinke und an dem Pendelkörper je eine Borste. Die ruhenden Schreibborsten müssen in derselben lotrechten Ebene und so dicht beieinander liegen, als dies ausführbar ist. Man muß das Pendel und die Stimmgabel so einstellen, daß der wagerechte Teil der Pendelschwingungen und die Bewegungen der Zinken parallel sind.

c) Überziehe an dem Ort, den der Lehrer dafür angewiesen hat, die Glasplatte mit einer *dünnen* Rußschicht. Bewege dabei das Glas in einiger Höhe über der rußenden Flamme anfangs rasch, später etwas langsamer hin und her. (Bei zerlegbaren Hemden sind zuvor die Röllchen abzuziehen.) *Lösche sofort nach dem Berußen die Flamme aus.*

d) Lege die Glasplatte, mit der berußten Seite nach oben, auf den Schlitten und stelle die Schreibspitzen so ein, daß sie eben auf der Rußschicht aufliegen. Laß das Pendel schwingen, schlage die Stimmgabel an und prüfe, ob die Borsten richtig schreiben.

e) Setze, sobald die Schreibvorrichtung gut arbeitet, Pendel und Stimmgabel in Schwingungen und ziehe dann den Schlitten schnell unter den schreibenden Borsten fort. Suche, falls das Pendel oder die Stimmgabel ihre Bewegungen nicht gut aufgeschrieben haben, mit Überlegung und ohne Hast nach den Mängeln der Einstellungen. Lege, wenn nötig, kleine Papierstücke zwischen die Glasplatte und den Schlitten und gib so der Scheibe die richtige Lage. Verschieb auf dem Schlitten die berußte Platte etwas seitwärts und mach eine neue Aufzeichnung. Nach einigen Vorversuchen, die man mit Geduld und Ausdauer ausführen muß, gelingen auch dem Ungeübten die Aufnahmen.

Fig. 153.

f) Befestige, sobald eine gute Aufzeichnung gelungen ist, die berußte Platte wagerecht so in den Klemmen zweier Gestelle, daß das Tageslicht durch die Scheibe fällt, und zähle sorgfältig die Anzahl der *ganzen* Wellen, die zwischen den Zeitmarken des Pendels A und C, B und D liegen (Fig. 153).

g) In wieviel Sekunden ist die Platte von A nach C bewegt worden? Wieviel volle Schwingungen hat in dieser Zeit die Stimmgabel ausgeführt? Wie groß ist also die Anzahl der vollen Schwingungen, die die Stimmgabel in einer Sekunde macht?

h) Bestimme ebenso die Schwingungszahl der Stimmgabel aus der Anzahl der ganzen Wellen auf der Strecke BD und nimm aus den beiden erhaltenen Werten das Mittel.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stimmgabel Nr. . . . Schreibvorrichtung Nr. . . .

Schwingungszeit t sek	Anzahl der vollen Schwingungen N	Schwingungsdauer $\tau = t/N$
	Mittel	. . . .

Anzahl der vollen Stimmgabelschwingungen in τ sek $\nu = \ldots$
Anzahl der vollen Stimmgabelschwingungen in einer Sekunde $n = \nu/\tau = \ldots$

k) Wische die berußte Glasplatte mit Watte ab und reinige sie dann mit Seifenwasser.

Bemerkungen. An der Seite eines Grundbrettes (75 cm $\times$ 10 cm $\times$ 2,5 cm) ist ein Pfosten (28 cm $\times$ 6 cm $\times$ 2 cm) befestigt, der oben eine durchbohrte Messingstange trägt (Fig. 152). In der Öffnung dieses Trägers ist die Klemme für das Pendel verschiebbar. Das Pendel besteht aus einer Stahlfeder und einem schweren Zylinder, woran die Schreibborste befestigt wird. Die Stimmgabel wird in eine Klemme eingespannt, die an einem kurzen Stabe auf dem Grundbrett sitzt. Der Schlitten (30 cm $\times$ 10,2 cm $\times$ 1,5 cm), der sehr eben sein und überall die gleiche Dicke haben soll, hat an den Seiten kleine Führungsbleche aus Messing; der Schlitten muß sehr sorgfältig gearbeitet sein. Die Glasscheibe (30 cm $\times$ 5 cm $\times$ 0,2 cm) ist nicht so breit wie der Schlitten, damit man sie darauf seitwärts verschieben kann.

Als Schreibstifte kann man nicht zu weiche, kurze Borsten (Streifchen aus einer Federspule, geschabtes Celluloid) verwenden, die man mit ein wenig Klebwachs befestigt. Bedeutend vollkommener ist die Schreibspitze, zu deren Herstellung und Anbringung O. Reichel *(Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 14, 197; 1901)* folgende Anleitung gibt: „Man klebt einen Streifen (3 mm $\times$ 35,5 mm) nicht zu dünnen Brief- oder Schreibpapiers zu einem dreieckigen Ring („dem Bock“) zusammen. Länge der Seiten: 12 mm, 13 mm, 5 mm, die kleinste Seite liegt doppelt. Einen zweiten ebenso breiten, aber nur 15,5 mm langen Streifen (das „Endblatt“) knifft man an seinem Ende auf eine Länge von 1,5 mm stumpfwinklig um, betupft das umgebogene Ende, die Kniffstelle mit eingeschlossen, mit einem Tröpfchen Schellacklösung und bettet in das Tröpfchen die auf $\sim$ 1,5 mm Länge abgeschnittene Spitze einer feinsten Insektennadel, so daß die Spitze nur wenig über das Endblatt herausragt. Sodann klebt man das Endblatt in $\sim$ 6 mm seiner Ausdehnung mittels Gummis auf die obere Fläche des Bocks (siehe Fig. 154). Zur Befestigung auf der Gabel bestreicht man deren bezügliche Stelle mit Schellacklösung und klebt, wenn der Schellack trocken, auf ihm mittels Gummis den Bock mit seiner Grundfläche an.“

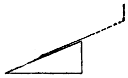

Fig. 15 .

Zum Berußen kann man ein Gemisch von Terpentinöl und Alkohol verwenden, das man in einer Spirituslampe brennt, oder auch ein Stück Kampfer, das man in einer Abdampfschale anzündet und nach dem Gebrauch mit einer darübergelegten Blechscheibe zum Erlöschen bringt. Bei der Verwendung von Kampfer muß man streng darauf halten, daß die Schüler damit sparsam umgehen. Die rußende Flamme muß stets sofort nach der Herstellung der Rußschicht ausgelöscht werden. Das Berußen läßt man unter einem Abzug oder an einem andern Ort ausführen, wo der Ruß weder belästigt noch schadet. Hat man einen Diener zur Verfügung, so lasse man ihn vor der Übung die Glasplatten, $\sim$ 5 für jede Gruppe, berußen. W. Elsässer *(Graph. Methoden im physik. Unterr. Wissenschaftl. Beilage z. Jahresb. d. Städt. Realgymn. zu Charlottenburg 1905, S. 4)* berußt die Platten nicht, sondern wischt sie mit einem Öl-läppchen ab, bestreut sie dann mit Bärlappsamen und bläst das überflüssige Pulver weg. Man kann die Platten auch mit Schlemmkreide anstreichen, die mit Alkohol angerührt ist.

Es ist davor zu warnen, die Schwingungszahl der Stimmgabel aus der Anzahl der Wellen während einer halben Pendelschwingung zu berechnen, da dies zu erheblichen Fehlern führen kann, wenn die Schreibstifte nicht genau in der Verschiebungsrichtung der Platte stehen.

Stimmgabeln aus Bronze sind zwar billiger als Stahlgabeln, doch haben sie sich in den praktischen Kursen in der Alten Urania nicht bewährt. Man lasse in die Grundfläche des Gabelstieles eine Nute einfeilen. Stahlgabeln reibe man nach jeder Benutzung mit Vaseline ein. Zum Anschlagen der Stimmgabeln benutze man Klavierhämmer aus Filz, die auf Stielen aus spanischem Rohr sitzen. Das sonst sehr empfehlenswerte Erregen der Stimmgabeln durch Abziehen eines Korkes, der zwischen die Zinken geklemmt worden ist, läßt sich bei diesem Versuch nicht bequem ausführen. Das Anstreichen der Gabeln mit einem Cellobogen wird bei den Übungen zu teuer. Man halte darauf, daß die Schüler bei den Versuchen Stimmgabeln nie auf dem Tisch oder gar einer Metallplatte anschlagen; ein Anschlagen auf einem Stück Filz oder Sohlenleder ist zulässig.

Die Übung bereitet den Schülern nicht geringe Schwierigkeiten, doch gelingt nach meinen Erfahrungen allen Schülern in einer Doppelstunde die Bestimmung der Schwingungszahl. Man muß sie nur immer wieder anspornen, nach mißlungenen Aufzeichnungen von neuem eine bessere Einstellung zu versuchen. Auf keinen Fall ist es ratsam, daß der Lehrer selbst die Schwingungen aufzeichnet und den Schülern nur das Auszählen überläßt.

Die Aufgabe schließt man am besten an die Versuche über schwingende Stäbe (vgl. S. 196) an.

II. Schwingende Saiten.

2. Aufgabe. *Wie ändert sich bei gleichbleibender Spannung die Schwingungszahl einer Saite mit der Länge?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Schuster-Lees, *Intermed. Course 163 Nr. 1.*

Geräte.

Monochord nebst Zubehör (vgl. S. 215).	Anschlaghammer.
c_1-Stimmgabel ($n = 256$).	Meterstab.
d_1-Stimmgabel ($n = 288$).	Papier.
	Schere.

Anleitung. a) Schneide einen sehr schmalen Streifen Papier ab, wickel ihn um den Stiel des Hammers und stelle so einen ringförmigen Reiter her.

b) Prüfe, ob der Ton der Saite, die zwischen den beiden Wirbeln ausgespannt ist, tiefer als c_1 ist, wenn nicht, entspanne die Saite so weit, daß dies der Fall wird (Fig. 155).

c) Setze den Reiter neben die Mitte der Saite. Schlage die Stimmgabel an, setze die Nute des Stieles auf die Saite und fahre mit der Gabel von dem einen festen Stege aus langsam die Saite entlang, bis eine Stelle erreicht wird, bei der der Reiter in heftige Bewegung gerät. Das so abgegrenzte Stück der Saite steht dann mit der Stimmgabel im Einklang. Schiebe nun den beweglichen

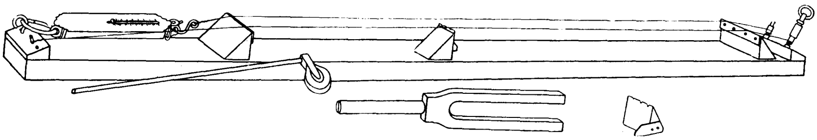

Fig. 155.

Steg an die Stelle, die der Gabelstiel einnimmt. Setze den Stiel der Stimmgabel auf den beweglichen Steg oder unter dem Reiter auf das Monochordbrett und prüfe, ob der Reiter wieder in heftige Bewegung versetzt wird, wenn nicht, verschiebe in kleinen Stufen den Steg, bis dies eintritt.

d) Miß die Länge des schwingenden Drahtstückes.

e) Wiederhole den Versuch zweimal.

f) Bestimme ebenso die Länge der Saite, die mit der d_1-Gabel im Einklang schwingt.

g) Schreibe die Ergebnisse in der folgenden Weise auf:

Monochord Nr. . . . c_1-Gabel Nr. . . . d_1-Gabel Nr. . . .

Stimmgabel			Saitenlänge		
Ton	Schwingungszahl n	Verhältnis der Schwingungszahlen n_1/n_2	Gemessen	Mittelwert l	Umgekehrtes Verhältnis der Längen l_2/l_1

h) Nimm für jede Gabel das Mittel aus den gemessenen Saitenlängen. Berechne das Verhältnis der Schwingungszahlen beider Gabeln und das umgekehrte Verhältnis der Saitenlängen. Vergleiche die erhaltenen Werte miteinander. Wie ändert sich bei gleichbleibender Spannung die Schwingungszahl mit der Länge der Saite?

Bemerkungen. Das Monochord (Fig. 155) besteht aus einem Holzbrett (110 cm $\times$ 10 cm $\times$ 2,5 cm), worauf in 75 cm Abstand zwei Stege befestigt sind. Es ist mit zwei Saiten bespannt, wovon die eine mit einem Wirbel und Stift und die andre mit einem Wirbel und mit einer Federwage (Meßbereich 15 kg*, geteilt in $^1/_4$ kg*) verbunden ist. Zur Bespannung verwende man Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. Bei der Befestigung der Saiten achte man darauf, daß die Drahtenden so um die Wirbel gewunden werden, daß die spannende Kraft den Wirbel im

Holz festzieht. Der bewegliche Steg trägt eine Messingplatte, deren obere Kante mit Einschnitten von verschiedener Tiefe versehen ist, damit man ohne Änderung der Spannung die Saite verkürzen kann. Den Stimmschlüssel binde man mit einer Schleife an einem Wirbel an. Für die Federwage ist die Eichkurve für die wagerechte Stellung aufzunehmen (vgl. S. 43). Die Wage lagere man auf zwei Holzleisten; diese sind in der Figur weggelassen.

Erst nach einigen vergeblichen Bemühungen pflegt es den Schülern zu gelingen, Saite und Stimmgabel in Einklang zu bringen.

Die Versuche über schwingende Saiten knüpft man an die Behandlung der Seilschwingungen an. Die Aufgaben 2 bis 5 lasse man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs ausführen.

3. Aufgabe. *Wie ändert sich bei gleichbleibender Länge einer Saite die Schwingungszahl mit der spannenden Kraft?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Schuster-Lees, *a. a. O, 165 Nr. 2.*

Geräte. Monochord nebst Zubehör. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). d_1-Stimmgabel ($n = 288$). Anschlaghammer. Papier. Schere. Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. Drahtzange. Beißzange.

Anleitung. a) Setze den Reiter neben die Mitte der Saite, die mit der Federwage verbunden ist. Schlage die d_1-Gabel an, setze ihren Stiel auf das Monochordbrett und ändere mit dem Stimmschlüssel die spannende Kraft, bis sich der Reiter heftig bewegt, also die Saite mit der d_1-Gabel im Einklang steht.

b) Klopfe schwach gegen die Federwage, lies die spannende Kraft ($\sim$ 11,5 kg*) ab und verbessere mit der Eichkurve die Ablesung.

c) Wiederhole dreimal den Versuch und nimm aus den erhaltenen Ergebnissen das Mittel.

d) Vermindere die spannende Kraft, bis die Saite mit der c_1-Gabel im Einklang steht, lies die Federwage ab ($\sim$ 9,5 kg*) und verbessere die Ablesung.

e) Verfahre wie bei (c).

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Monochord Nr. . . . c_1-Gabel Nr. . . . d_1-Gabel Nr. . . .

Stimmgabel			Spannende Kraft				
Ton	Schwingungszahl n	Verhältnis der Schwingungszahlen n_1/n_2	Ablesung	Mittelwert	Verbesserter Wert F kg*	$\sqrt{F}$	$\sqrt{F_1/F_2}$

g) Wie ändert sich bei gleichbleibender Länge einer Saite die Schwingungszahl mit der spannenden Kraft?

Bemerkungen. Man führe den Versuch erst mit der d_1- und dann mit der c_1-Gabel aus. Der Schüler, der die Federwage abliest, stelle sich mit dem Rücken gegen das Monochord gekehrt so auf, daß der Draht, wenn er reißen sollte, nicht sein Auge verletzen kann.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 2.

4. Aufgabe. *Wie ändert sich bei gleichbleibender Schwingungszahl die Länge einer Saite mit der spannenden Kraft?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. SCHUSTER-LEES, *a. a. O. 166 Nr. 3.*

Geräte. Monochord nebst Zubehör. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). Anschlaghammer. Papier. Schere. Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. Drahtzange. Beißzange. Meterstab.

Anleitung. a) Stimme wie in der 3. Aufgabe mit der Federwage die ganze Saite so ab, daß sie mit der c_1-Gabel im Einklang steht. Klopfe schwach gegen die Federwage, lies die spannende Kraft ab und verbessere die Ablesung.

b) Vermindere die spannende Kraft auf $\sim {}^3/_4$ des soeben bestimmten Wertes, setze den beweglichen Steg unter die Saite und miß die Drahtlänge, die nun mit der c_1-Gabel im Einklang steht.

c) Vermindere die spannende Kraft auf etwa die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes und verfahre dann wie bei (b).

d) Wiederhole dreimal die Beobachtungen und bilde aus den Ergebnissen das Mittel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Monochord Nr. . . . c_1-Gabel Nr. . . .

Spannende Kraft		Saitenlänge l cm	F/l^2
Ablesung	Verbesserte Ablesung F kg*		

f) Wie ändert sich bei gleichbleibender Schwingungszahl die Länge derselben Saite mit der spannenden Kraft?

Bemerkungen. Die ungenaue Bestimmung der spannenden Kräfte bewirkt die Unterschiede in den Ergebnissen.

Vgl. die Bemerkungen zur 2. Aufgabe.

5. Aufgabe. *Kann man mit Maßstab und Wage den Ton einer Saite und einer Stimmgabel bestimmen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Monochord nebst Zubehör. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). Anschlaghammer. Papier. Schere. Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. Drahtzange. Dreikantige Feile. Beißzange. Wage. Gewichtsatz.

Anleitung. a) Stimme wie in der 3. Aufgabe mit der Federwage die Saite so ab, daß sie mit der c_1-Gabel im Einklang steht. Klopfe gegen die Federwage, lies die spannende Kraft ab und verbessere die Ablesung.

b) Miß sorgfältig die Länge der Saite zwischen den beiden festen Stegen.

c) Feile an beiden Stegen Marken in die Saite, nimm den Draht ab und schneide ihn an den markierten Stellen mit der Beißzange durch.

d) Wäge das abgeschnittene Stück und berechne die Masse (k gr/cm) eines Drahtstückes, das 1 cm lang ist.

e) Ist n die Schwingungszahl der Saite, l cm die Länge, F Dyne die spannende Kraft und k gr/cm die Masse eines Drahtstückes von 1 cm Länge, so wird nach der Taylorschen Formel

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{F}{k}}.$$

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Monochord Nr. . . . c_1-Gabel Nr. . . .
Spannende Kraft, an der Federwage abgelesen . . . kg*.
Verbesserte spannende Kraft . . . kg*.
Verbesserte spannende Kraft, in Dyne gemessen, $F = \ldots$ [Dyne].
Länge der schwingenden Saite $l = \ldots$ [cm].
Masse der schwingenden Saite $m = \ldots$ [gr].
Masse von 1 cm Saite $k = \ldots$ [gr/cm].
Schwingungszahl der Saite $n = \ldots$ [$^1/$sek].

g) Berechne mit der Taylorschen Formel die Schwingungszahl der Saite. Wie groß ist die Schwingungszahl der Stimmgabel?

Bemerkungen. Diese Aufgabe macht stets einen tiefen Eindruck auf die Schüler. Vgl. die Bemerkungen zur 2. Aufgabe.

III. Schwingende Luftsäulen.

6. Aufgabe. *Kann man die Wellenlänge eines gegebenen Tones und die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft mit einer mittönenden Röhre bestimmen?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Kohlrausch[10] *232*.

Geräte. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). d_1-Stimmgabel ($n = 288$). Anschlaghammer. Mittönröhre. (Vgl. S. 221). Kautschukschlauch von 1,50 m Länge, Großer Glastrichter, der Hals zu einem Schlauchansatz ausgebildet. Thermometer. Lot. Meterstab. Bunsengestell mit Ring und Klemme. Porzellantopf zum Einfüllen des Wassers. Großes Gefäß zum Untersetzen. Papier oder Gummiringe.

Anleitung. a) Klemme die Glasröhre in lotrechter Stellung so fest, daß das offene weite Ende nach oben gekehrt ist (Fig. 156). Setze den Trichter in den Ring des Gestelles, verbinde durch einen Kautschukschlauch seinen Hals mit dem untern Ende der Glasröhre und gieße Wasser in den Trichter, bis der Spiegel $\sim$ 25 cm unter dem obern Ende der großen Röhre liegt. Stelle ein großes Gefäß unter, das bei einem Mißgeschick das ausströmende Wasser auffängt.

b) Miß die Warmheit der Luft in der Röhre.

c) Schlage die Stimmgabel an und halte sie so über das offene Ende der Röhre, daß die Achse der Zinken in einer lotrechten Ebene steht, also die Schwingungen in der Richtung der Röhrenachse stattfinden. Wie wirkt die Luftbewegung, die durch die Stimmgabel erregt wird, auf die Luftsäule ein, die am einen Ende durch den Wasserspiegel geschlossen ist?

d) Halte die schwingende Stimmgabel dicht über das Rohrende und senke allmählich den Trichter. Ändert sich die Schallstärke mit der Länge der Luftsäule? Markiere mit einem Stück nassen Papier oder mit einem Kautschukring die Stellung des Wasserspiegels, bei der die Tonstärke am größten ist. Nimm bei der Einstellung die Gabel von Zeit zu Zeit weg, um den Unterschied der Tonstärke sicherer beurteilen zu können. Miß die Länge (l_1 cm) der Luftsäule.

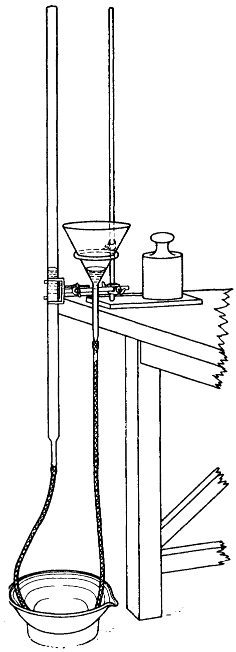

Fig. 156.

e) Suche und markiere auf gleiche Weise eine tiefere zweite Stellung des Wasserspiegels, bei der die Tonstärke am größten ist, und miß die Länge (l_2 cm) der Luftsäule.

f) Entferne die Marken, laß das Wasser in der mittönenden

Röhre steigen und bestimme nochmals die Längen der Luftsäulen, bei denen die Tonstärke am größten ist.

g) Miß nochmals die Temperatur der Luft in der Röhre.

h) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

c_1-Stimmgabel Nr. . . . Schwingungszahl $n =$ . . . Mittönröhre Nr. . . . Temperatur der Luft in der Röhre = . . . Mittlere Temperatur . . . Schallgeschwindigkeit bei dieser Temperatur $v =$ . . . [cm/sek].

l_1 cm	l_2 cm
Mittel	. . . . .

Halbe Wellenlänge des Tones in der Luft $^1/_2\,\lambda = l_2 - l_1 =$ . . . [cm].
Wellenlänge des Tones in der Luft $\lambda =$ . . . [cm].

i) Die Länge (l_1 cm) der kurzen Luftsäule (vermehrt um $^3/_{10}$ des inneren Rohrdurchmessers) ist ein Viertel der Wellenlänge des Tones in der Luft. Der Abstand ($l_2 - l_1$) der beiden Wasserspiegel ist gleich der halben Wellenlänge.

k) Berechne aus dem Längenunterschied der beiden Luftsäulen die Wellenlänge (λ cm) des Tones in der Luft.

l) Bringe an der Länge der kurzen Luftsäule die Verbesserung wegen der Störungen am offenen Ende an und berechne auch daraus die Wellenlänge.

m) Berechne aus der Wellenlänge (λ cm) des Tones und der Schwingungszahl n der Stimmgabel die Schallgeschwindigkeit (v cm/sek) in der Luft.

n) Ist t^0 C die Luftwärme, so ist die Schallgeschwindigkeit

$$v = 33100\sqrt{1 + 0{,}004\,t}\,[\text{cm/sek}].$$

Berechne mit dieser Formel die Schallgeschwindigkeit und vergleiche das Ergebnis mit dem Wert, der bei (m) erhalten wurde.

o) Wische die Stimmgabel sorgfältig ganz trocken. Gieße das Wasser aus der Röhre und lege diese sicher auf das Ablaufbrett.

2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. HALL, *Descr. List 66 Nr. 48, 91 Nr. 94 u. 95.*

Geräte. KUNDTsche Röhre nebst Zubehör (vgl. S. 224). c_1-Stimmgabel ($n = 256$). | d_1-Stimmgabel ($n = 288$). Anschlaghammer. Meterstab.

Anleitung. p) Schiebe die Korkscheibe A (Fig. 157) mit ihrem langen Stiel so weit in die Röhre hinein, daß sie $\sim$ 25 cm vom Ende B entfernt ist.

q) Verfahre wie bei (b).

r) Schlage die Stimmgabel an und halte sie so vor die Öffnung B, daß die Schwingungen in der Richtung der Röhrenachse stattfinden. Entferne die Korkscheibe allmählich von der Stimmgabel und beobachte die Änderung der Tonstärke. Suche die Stellung der Scheibe,

Fig. 157.

bei der der Ton am lautesten ist. Miß die Entfernung (l_1 cm) der Scheibenfläche vom Ende B der Röhre.

s) Ziehe die Scheibe weiter zurück, such eine zweite Stellung der Scheibe, bei der der Ton der Stimmgabel am meisten verstärkt wird, und miß die Entfernung (l_2 cm) der Scheibenfläche von B.

t) Drücke die Scheibe wieder weiter in die Röhre hinein und bestimme nochmals die Längen der Luftsäulen, bei denen die Tonstärke am größten ist.

u) Verfahre wie bei (g) bis (n).

Bemerkungen. Die mittönende Röhre hat die lichte Weite 2,8 cm und die Länge 120 cm. Das eine Ende ist zu einem Schlauchansatz umgestaltet, dessen Länge nicht mitgerechnet ist. Man ermahne die Schüler mit Nachdruck, daß sie sorgfältig vermeiden, die Stimmgabeln naß zu machen. Das zweite Verfahren ist zwar bequemer, liefert aber weniger gute Ergebnisse. Man lasse einen Teil der Schüler mit c_1-Gabeln und den andern Teil mit d_1-Gabeln den Versuch ausführen. Verschließe während des Nichtgebrauches die Röhrenenden mit Wattepfropfen.

7. Aufgabe. *Vergleiche die Geschwindigkeiten des Schalles in der Luft und im Messing miteinander.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Kundtsche Röhre.
Messingstab.
Rohrstock.
2 Holzböcke.
Zwinge mit Feilkloben.
Kork oder Bärlappsamen.
Rauhes Sandpapier.
Bunsenbrenner.
Gasschlauch.
Wollener Lappen.
Gepulvertes Kolophonium.
Maßstab.
Schublehre.
Thermometer.
Wage.
Gewichtsatz.

Anleitung. a) Schiebe mehrmals durch die Glasröhre einen Bausch trockener Watte. Bewege die Röhre drehend über einer kleinen Bunsenflamme hin und her und trockne sie so sorgfältig unter gelindem Erwärmen. Reibe auf rauhem Sandpapier einen trockenen Kork und stelle so Korkstaub her. Setze in das eine Ende der Röhre einen Kork ein, neige sie unter einem Winkel von $\sim 60^0$ und schütte mit einer Messerklinge oder einer Papierrinne ganz wenig trockenen Korkstaub oder Bärlappsamen an einer Seite der Röhre hinunter. Die besten Ergebnisse erhält man, wenn der Korkstaub in einem dünnen zusammenhängenden Streifen das ganze Rohr entlang liegt.

b) Lege die Röhre behutsam, ohne den Staubstreifen zu zerstören, in zwei V-förmig ausgeschnittene Holzböcke A und B (Fig. 158). Klemme den Messingstab mit seiner Mitte zwischen den Backen des Feilklobens C fest, dessen Zwinge am Tischrand festgeschraubt ist. Richte die Glasröhre so aus, daß das Ende des Messingstabes, das die Korkscheibe trägt, etwas hineinragt und die Achsen von Röhre und Stab in derselben Geraden liegen. Drehe die Röhre

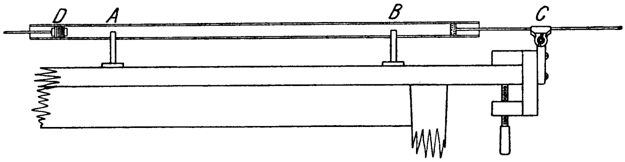

Fig. 158.

in ihren Lagern behutsam so weit, daß der Korkstaub eben noch nicht beginnt, aus dem ursprünglichen schmalen Streifen herauszugleiten.

c) Reibe mit einem wollenen Lappen (oder einem Leder), der mit gepulvertem Kolophonium eingerieben ist, den Messingstab und setze ihn so in Längsschwingungen. Beginne mit dem Reiben in der Mitte des Stabes und ziehe den Lappen ohne allzustarken Druck langsam und stetig vollständig vom Stabe ab. Verschiebe die Scheibe D ein wenig, jedesmal um 2 bis 3 mm, bis die Stellung gefunden ist, wo der Staub am heftigsten aufwirbelt und sich in regelmäßigen Abständen in Rippen anordnet. Gelingt es nicht, diese KUNDTschen Staubfiguren zu erhalten, so ist die Röhre feucht oder zuviel Korkstaub darin. Man muß also die Röhre nochmals trocknen oder weniger Korkstaub nehmen.

d) Bei den Bäuchen der sich bildenden stehenden Luftwellen ordnet sich der Staub in Querrippen an. Warum wird der Korkstaub nur bei bestimmten Stellungen der Endscheibe D in Bewegung gesetzt? Liegt bei der Korkscheibe am Ende des Messingstabes ein Knoten oder ein Bauch der schwingenden Luftsäule? Ist diese Korkscheibe ein Knoten oder ein Bauch des schwingenden Messingstabes? Liegt bei der Scheibe D ein Knoten oder ein Bauch der schwingenden Luftsäule? Der Abstand (l_k cm) zweier benachbarter Knoten ist gleich der halben Länge der Luftwellen.

e) Miß den Abstand der beiden äußersten Knoten und teile ihn durch die Anzahl der dazwischen liegenden Bäuche. Man erhält so den Abstand zweier benachbarter Knoten.

f) Hat man die Abstände von $2n$ Knoten gemessen, so berechne man die Unterschiede $k_{n+1} - k_1$, $k_{n+2} - k_2, \ldots k_{2n} - k_n$ von je n Knoten, bilde das Mittel und teile dies durch n, um die halbe Wellenlänge der schwingenden Luftsäule zu erhalten.

g) Die Länge l_m des schwingenden Messingstabes ist die halbe Länge seiner Welle.

h) Miß die Temperatur in der KUNDTschen Röhre.

i) Ändere die Lage der Endscheibe und wiederhole die Messung dreimal.

k) Bezeichnet λ_l die Wellenlänge in der Luft und λ_m die Wellenlänge im Messing und n die Schwingungszahl des Tones von Stab und Luftsäule, so ist die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft $v_l = n\lambda_l$ und die Geschwindigkeit des Schalles im Messing $v_m = n\lambda_m$, mithin $v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l$. Nun ist

$$v_l = 33100\sqrt{1 + 0{,}004\,t}\ [\mathrm{cm/sek}],$$

also

$$v_m = 33100\sqrt{1 + 0{,}004\,t}\cdot\frac{\lambda_m}{\lambda_l}\left[\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{sek}}\right].$$

Berechne mit dieser Formel die Schallgeschwindigkeit im Messing.

l) Bezeichnet ϱ gr/cm³ die Dichte und [E] den in absoluten Einheiten gemessenen Elastizitätsmodul, so ist nach NEWTON

$$v_m = \sqrt{\frac{[\mathrm{E}]}{\varrho}}\left[\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{sek}}\right],$$

also

$$[\mathrm{E}] = v_m^2\varrho\ [\mathrm{CGS}].$$

Bestimme den Raum, die Masse und Dichte des Messingstabes und berechne mit dieser Formel den Elastizitätsmodul des Messings.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Länge des Stabes $l_m = \ldots$ [cm]. Durchmesser des Stabes $d_m = \ldots$ [cm]. Raum des Stabes $V = \ldots$ [cm³]. Masse des Stabes $m = \ldots$ [gr]. Dichte des Messings $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm³]. Wellenlänge im Messing $\lambda_m = 2\,l_m = \ldots$ [cm]. Temperatur $t = \ldots$ °C. Geschwindigkeit des Schalles in der Luft $v_l = \ldots$ [cm/sek].

k_ν	$k_{n+\nu}$	$k_{n+\nu} - k_n$
	Mittel	. . . . .

$$\lambda_l = \ldots\ [\mathrm{cm}].$$
$$v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l = \ldots$$
$$v_m = \ldots\ [\mathrm{cm/sek}].$$
$$[\mathrm{E}] = v_m^2\varrho = \ldots\ [\mathrm{CGS}].$$

n) Reinige die KUNDTsche Röhre und verschließe ihre Enden mit Wattepfropfen.

Bemerkungen. Die Glasröhre hat 120 cm Länge und 2,8 cm lichte Weite. Der Messingstab ist 0,6 cm dick, 60 cm lang und am einen Ende mit einer leichten Korkscheibe versehen. Der Rohrstock ist 0,5 cm dick und 120 cm lang und trägt am einen Ende einen Korkkolben mit Baumwolledichtung. Die KUNDTsche Röhre wird auf zwei Holzböcke (5,3 cm $\times$ 4 cm $\times$ 1 cm) mit V-förmigem und 2,3 cm tiefen Ausschnitt gelagert, die auf Grundbrettern (8 cm $\times$ 4 cm $\times$ 1 cm) sitzen. Der Messingstab wird zwischen die Backen eines Feilklobens geklemmt, der an eine Holzzwinge geschraubt ist.

Siebenter Teil.

Wärme.

I. Ausbreitung der Wärme.

1. Aufgabe. *Wie wird ein Körper warm?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Worthington *157 Nr. 1—5.*

Geräte. Streichhölzer. Kupferdraht von 1,6 mm Durchmesser. Kupferdraht von 0,8 mm Durchmesser. Eisendraht von 0,8 mm Durchmesser. Beißzange. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Maßstab.

Anleitung. **a)** Schneide von dem Kupferdraht, der 1,6 mm stark ist, ein Stück ab, das so lang wie das Streichholz ist. Zünde das Streichholz und damit das Gas an. Halte das brennende Streichholz so lange wie möglich in der Hand. Halte das eine Ende des Kupferdrahts in die Flamme. *Wärmezufuhr durch Leitung.* Leitet das Streichholz oder das gleich große Stück Kupferdraht die Wärme besser?

b) Schneide von dem Kupferdraht, dessen Durchmesser 1,6 mm ist, ein $\sim$ 20 cm langes Stück ab. Erhitze das eine Ende in der Flamme, doch nicht so stark, daß es schmilzt, und fahre langsam mit einem Finger auf dem Draht, so weit es geht, nach der Flamme zu. Ändert sich die Warmheit (Temperatur) längs dem Draht? Ändert sich mit der Zeit die Warmheit derselben Drahtstelle? *Bleibender (stationärer) Zustand.* Warum ändert sich die Warmheit nicht? Gibt die Drahtstelle Wärme ab? *Leitung. Strahlung. Wärmeabgabe durch Mitteilung an die kältere Luft.*

c) Erhitze das eine Ende des 20 cm langen Kupferdrahtes wiederum in der Flamme, doch nicht so stark, daß es schmilzt. Nimm das Drahtende aus der Flamme, halte die Handfläche darunter und schließe die Hand. *Wärmeabgabe durch Strahlung.*

d) Halte die Handfläche über den Draht und schließe die Hand. Ist die Wärmeempfindung jetzt stärker? Zu der ausgestrahlten

Wärme tritt die Wärme der aufsteigenden Luft hinzu, die sich am Draht erhitzt hat. *Mitführung der Wärme.*

e) Fasse die Ergebnisse der Versuche (b) bis (d) zusammen. Gibt jeder Teil des Drahtes Wärme ab? Bleibt an jeder Stelle seine Warmheit unverändert? Woher empfängt fortwährend jede Stelle Wärme?

f) Schneide von dem Kupferdraht, dessen Durchmesser 0,8 mm ist, und von dem 0,8 mm starken Eisendraht je ein Stück von 15 cm Länge ab. Fasse mit je einer Hand das eine Ende eines Drahtes und halte die andern Enden zusammen in die Flamme. Welcher Draht wird schneller warm? Bei welchem Draht sind, nachdem der bleibende Zustand eingetreten ist, die entsprechenden Teile wärmer?

g) Je heißer ein Körper ist, desto schneller kühlt er sich ab, wie wir später sehen werden. Das kalte Ende des Kupfers verliert mehr Wärme als das noch kältere Ende des Eisens. Das Kupfer bleibt aber wärmer als das Eisen. Leitet also das Kupfer oder das Eisen die Wärme besser?

Bemerkungen. Man halte darauf, daß die Schüler nur den Teil der Flamme benutzen, wo der Kupferdraht nicht schmilzt, also diesen nicht in die Spitze des blauen Kegels halten. Der Schluß, daß Kupfer der bessere Leiter sei, da es sich schneller erwärmt, ist nicht zwingend, da das Kupfer eine geringere spezifische Wärme als Eisen hat. Nur die Vergleichung stationärer Zustände liefert ein zulässiges Urteil.

Das Wort Warmheit rührt von Helmholtz her, *Vorlesungen über Theorie der Wärme 1.*

2. Aufgabe. *Hängt die Geschwindigkeit des Erkaltens vom Warmheitsüberschuß des Körpers über seine Umgebung ab?*

(2 Schüler, $1^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Worthington *164 Nr. 13.*

Geräte.

Holzplatte (vgl. S. 228).	Schrot.
Kork.	Pipette.
Korkbohrer.	Bunsenbrenner.
Rundfeile.	Gasschlauch.
Thermometer.	Batterieglas oder Becherglas von 12 cm lichter Weite und 16 cm Höhe.
Weißblechzylinder von 7,5 cm innerm Durchmesser und 10 cm Höhe.	Millimeterpapier.

Anleitung. a) Setze mit einem durchbohrten Kork das Thermometer in den Holzdeckel ein (Fig. 159). Ist die Durchbohrung zu eng, so erweitere sie mit der Rundfeile; ist sie zu weit, so streife über die Thermometerröhre einen Kautschukring (kurzes Schlauchstück). Ziehe das Thermometer wieder aus dem Kork heraus. Fülle das große Glas mit Wasser von Zimmerwärme und setze den Blechzylinder hinein. Beschwere den Zylinder so mit Schrot, daß er das Holzbrett nicht empordrückt. Der Wasserspiegel im Glas soll ~ 2 cm unterhalb des Randes liegen.

b) Rühre ~ 3 Minuten lang das Wasser sorgfältig um und lies dann seine Temperatur t'^0 ab. Trockne das Thermometer tüchtig ab.

c) Bewege das Thermometer in der heißen Luft über einer Bunsenflamme behutsam auf und ab und erwärme es so auf ~ 60 bis 80° C. Stecke sofort das Thermometer so weit durch den Kork, daß die Kugel in der Mitte des Bechers steht.

d) Sieh auf die Uhr und zähle 5 Sekunden vor jeder vollen und jeder halben Minute laut 5, 4, 3, 2, 1, 0. Der Mitarbeiter liest auf den Ruf „Null" das Thermometer sorgfältig ab und schätze dabei die Zehntel-Grade.

e) Miß so in Abständen von einer halben Minute die Temperaturen $t_\nu{}^0$ C des Thermometers bis zu einer Warmheit, die 6 bis 8° über der des Wassers liegt.

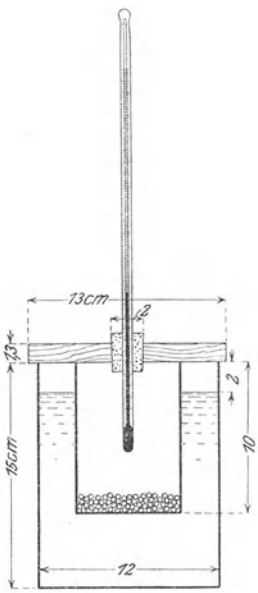

Fig. 159.

f) Bestimme wie bei (b) nochmals die Temperatur $t_0''^0$ des Wassers und berechne dann die mittlere Temperatur $t_0{}^0$ C des Wassers während des Versuches.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Thermometer Nr. . . .
Temperatur des Wassers bei Beginn $t_0' = \ldots$ °C, am Ende $t_0'' = \ldots$ ° C.
Mitteltemperatur des Wassers $t_0 = \ldots$ ° C.

Zeit der Ablesung τ min	Abgelesene Temperatur t_ν °C	Warmheitsüberschuß $\vartheta_\nu = t_\nu - t_0$	Mittlerer Überschuß $\Theta = \frac{1}{2}(\vartheta_\nu + \vartheta_{\nu+1})$	Warmheitsabnahme in ½ Min. $u = t_\nu - t_{\nu+1}$	Erkaltungsgeschwindigkeit in der Sekunde $v = u/30$	Verhältnis der Erkaltungsgeschwindigkeit zum Warmheitsüberschuß $\mu = v/\Theta$

h) Berechne den Unterschied ϑ_ν der Temperatur t_ν des Thermometers und der Temperatur t_0 des Wassers am Anfang und Ende jeder halben Minute *(Warmheitsüberschuß)* und den mittlern Warmheitsüberschuß Θ während dieser Zeit. Berechne ferner die Anzahl Grade (u), um die das Thermometer in einer halben Minute fällt, und die Warmheitsabnahme (v) in einer Sekunde *(Erkaltungsgeschwindigkeit)*. Bilde das Verhältnis μ der Erkaltungsgeschwindigkeit zum Temperaturüberschuß.

i) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, nimm dabei einmal die Zeit τ als Abszisse und die Thermometertemperatur t_v als Ordinate und das andere Mal den mittlern Warmheitsüberschuß Θ als Abszisse und die Erkaltungsgeschwindigkeit v als Ordinate.

k) Hat das Verhältnis μ einen gleichbleibenden Wert? Ändern sich v und Θ gleich schnell? Nach Newton ist die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers dem Warmheitsüberschuß über die Umgebung proportional. Für welche Warmheitsüberschüsse trifft das Gesetz angenähert zu?

Bemerkungen. Durch die Mitte der Holzplatte (13 cm $\times$ 13 cm $\times$ 1,3 cm) ist ein Loch von 2 cm Durchmesser gebohrt und darin ein durchbohrter Kork eingesetzt. Die untere Seite des Bretts ist mit Stanniol beklebt.

Diese Aufgabe, die den Schülern nicht geringe Schwierigkeiten bietet, wird man erst nach der Behandlung der Aufgaben 6 bis 9 stellen.

Das Wasser muß vor der Übung bereits längere Zeit im Arbeitsraum gestanden haben. Man ermahne die Schüler, die Thermometer mit großer Vorsicht zu erwärmen. Bei sehr ungeschickten, unzuverlässigen oder krankhaft-bösartigen Schülern erwärme man selbst das Thermometer oder lasse das Erhitzen von einem gewissenhaften Schüler ausführen. Ich habe bis jetzt bei diesem Verfahren nur ein Thermometer eingebüßt und zwar ohne Zweifel durch Böswilligkeit, ein ganz vereinzeltes Vorkommnis; der Schüler, der wohl geistig nicht gesund war, mußte einige Zeit später wegen grober Verstöße gegen die Schulordnung von der Anstalt verwiesen werden.

3. Aufgabe. *Hängt der Wärmeverlust eines Körpers durch Strahlung und durch Berührung mit der Luft von der Größe der Außenfläche des Körpers ab?*

(1 Schüler, $^1/_4$ Stunde.)

Literatur. Worthington *168 Nr. 14.*

Geräte.

Reagenzglas von 3 cm Durchmesser und 13 bis 15 cm Länge.	Schere.
Stanniol.	Bunsenbrenner.
	Gasschlauch.
	Maßstab.

Anleitung. a) Schneide zwei gleiche Stücke Stanniol ($\sim$ 10 cm $\times$ 5 cm) aus, rolle den einen Streifen zu einer kleinen Kugel zusammen und wickle den andern über einem runden Bleistift lose zusammen.

b) Lege Kugel und Rolle in das Reagenzglas und erwärme beide behutsam über einer Bunsenflamme, achte dabei sorgfältig darauf, daß das Stanniol nicht schmilzt.

c) Schütte rasch den Inhalt des Glases auf den Tisch und fasse die Kugel und die Rolle mit den Händen an. Wer von beiden Körpern behält seine Wärme länger? Wer hat die größere Außenfläche?

Bemerkungen. Die Aufgaben 3 bis 5 kann man gleichzeitig nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

4. Aufgabe. *Hängt die Wärmeausstrahlung eines Körpers von der Beschaffenheit der Oberfläche ab?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Worthington *168 Nr. 15.*

Geräte.

2 weithalsige Glasfläschchen (60 cm³).	Trichter.
Berußungslampe (vgl. S. 213).	Korke.
Stanniol.	Thermometer.
Gummi arabicum.	Metallstab.
Heißes Wasser.	Becherglas.
	Pipette.
	Schere.

Anleitung. a) Trockne, wenn nötig, die Fläschchen innen aus. Beruße das eine dick bis zum Hals und beklebe das andere bis zum Hals mit Stanniol oder bronziere es.

b) Fülle beide Fläschchen bis zum Hals mit heißem Wasser, lies die Temperatur eines jeden ab und bestimme mit der Uhr die Zeit der Ablesung. Stelle die Fläschchen an einen Ort, wo kein Zug herrscht.

c) Miß nach ∼ 20 Minuten wiederum die Temperatur jedes Fläschchens.

d) Welches Fläschchen hat sich stärker abgekühlt?

Bemerkungen. Das Berußen und Bekleben oder Bronzieren muß in einer früheren Übung geschehen. Man hebt die Fläschchen auf und bessert nur jedesmal die Oberflächenbedeckung aus.

Viel Zeit wird bei allen Versuchen, wo man heißes Wasser gebraucht, gewonnen, wenn man dieses vorher bereitet. Bei ärmlicher Ausstattung benutze man Teekessel und Gaskocher, bei kleinem Bedarf genügt ein Fletscher-Apparat, bei großem Bedarf aber verwende man Prof. Junkers „Heißquell" oder dgl. Lehmann-Frick *1, 1, 137.*

Vgl. Bemerkungen zu Aufgabe 3 S. 228.

5. Aufgabe. *Hängt die Fähigkeit eines Körpers, Wärmestrahlen zurückzuwerfen, von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Worthington *169 Nr. 16.*

Geräte.

2 gleiche Bechergläser.	Durchlochtes Holzbrettchen (vgl. S. 228).
Bunsenbrenner.	Thermometer.
Gasschlauch.	Stanniol.
Berußungslampe (vgl. S. 213).	Gummi arabicum.
	Schere.

Anleitung. a) Beruße die Innenseite des einen Becherglases dick und laß es vollständig erkalten. Das Abkühlen kann man beschleunigen, indem man über die Außenseite kaltes Wasser gießt.

b) Erwärme das Thermometer wie bei Aufg. 2 (c) S. 227 sehr behutsam auf ∼ 80 bis 90°. Stecke das Thermometer durch den

Kork im Brettchen, laß es im Becherglas erkalten und miß die Zeit, in der es sich von ~ 70 auf 40° abkühlt.

c) Wiederhole den Versuch mit dem andern Becherglas, das innen mit Stanniol beklebt oder bronziert ist, und mit einem Deckel, der ebenfalls mit Stanniol überzogen oder bronziert ist.

d) In welchem Gefäß kühlt sich das Thermometer rascher ab? Welches Gefäß wirft mehr Wärmestrahlen zurück?

Bemerkungen. Man benutzt dasselbe Brettchen wie bei Aufgabe 2, die eine Seite bronziert man oder überzieht sie mit Stanniol.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 3 und 4.

II. Warmheit.

6. Aufgabe. *Prüfe den Eispunkt des Thermometers.*

(1 Schüler, 1/2 Stunde.)

Geräte. Großer Trichter. Reiner Schnee oder zerkleinertes reines Eis. Stabthermometer. Bunsengestell mit Ring und Haken. Batterieglas. Kurzer Kautschukschlauch. Quetschhahn. Sack aus Segeltuch. Holzhammer. Destilliertes Wasser. Garn. Spiegelstreifen.

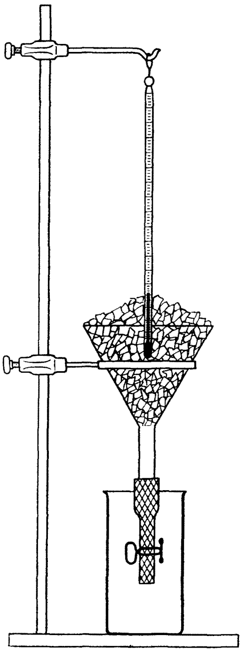

Fig. 160.

Anleitung. a) Schreibe die Nummer des Thermometers auf. Sieh nach, ob der Quecksilberfaden nicht zerrissen ist, und ob nicht ein Stück davon im obern Ende der Röhre sitzt. Ist das der Fall, so fasse das Thermometer, dessen Kugel nach unten gekehrt ist, in der Mitte und schwinge es mit dem nach unten ausgestreckten Arm rasch vor- und rückwärts, bis sich der zerrissene Faden wieder vereinigt hat.

b) Befestige am Hals eines Trichters einen kurzen Kautschukschlauch und verschließe ihn mit einem Quetschhahn (Fig. 160).

c) Setze in den Ring des Gestelles den Trichter und fülle ihn mit reinem Schnee oder mit zerkleinertem reinem Eis. Gieße so viel destilliertes Wasser über das Eis, daß die Zwischenräume ausgefüllt werden. Mache mit einem Bleistift ein Loch in die Mitte des Eises und stecke die Kugel des Thermometers so weit in diese Höhlung, daß der Nullpunkt noch mit den obersten Eisteilchen in gleicher Höhe liegt. Befestige das Thermometer in dieser

Stellung mit einem Faden, der an das obere Ende des Thermometers und an die Klemme oder den Haken des Gestelles geknüpft wird. Laß das Thermometer in dem Eis stehen, bis seine Einstellung sich nicht mehr ändert, also mindestens 10 Minuten lang. Packe von Zeit zu Zeit das Eis gut um das Thermometer. Drehe das Thermometer so, daß man es gut ablesen kann, klopfe mit dem Bleistift schwach gegen die Thermometerröhre, lege an ihre Rückseite einen Streifen Spiegelglas, halte das Auge so, daß dessen Spiegelbild in der Höhe der Quecksilberkuppe liegt, lies nun deren Stellung sorgfältig ab und schätze dabei die Zehntelgrade. Beachte, ob die Quecksilberkuppe höher oder tiefer als der Nullpunkt steht. Die Temperatur Null entspricht dem Punkt, worauf sich die Quecksilbersäule einstellt.

Bemerkungen. Die Stabthermometer, die von -30^0 bis $+130^0$ in ganze Grade geteilt sind, hat W. Niehls, Berlin SW., Friedrichstr. 244 angefertigt.

Das Eis muß man vor dem Zerkleinern tüchtig waschen. Kunsteis ist wegen des Salzgehaltes bedenklich. Das gereinigte Eis legt man in einen Sack aus Segeltuch und zerschlägt es mit dem Holzhammer. Man kann das Eis auch mit dem Heftende einer Feile, mit einem Nagel oder mit einem spitzen Messer abspalten, mit einem Böttchermesser oder auf einem Reibeisen schaben.

Über die Bestimmung des Eis- und Siedepunkts eines Thermometers vgl. Kohlrausch *151 ff.* und Ostwald-Luther *60 ff.*

Ist das Batterieglas groß genug, so kann man den Ring entbehren und den Trichter auf das Glas setzen.

7. Aufgabe. *Wie wirkt zugefügtes Kochsalz auf den Gefrierpunkt des Wassers ein?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte.	Thermometer.	Große Porzellanschale.
	Enges Reagenzglas.	Holzlöffel.
	Schnee oder zerkleinertes Eis.	Suberitring.
		Bunsenbrenner.
	Kochsalz.	Gasschlauch.

Anleitung. **a)** Misch in einer großen Porzellanschale tüchtig Kochsalz mit $\sim$ 4 Teilen zerkleinertem Eis oder besser Schnee. Stecke die Thermometerkugel in das Gemisch und lies die tiefste erreichte Temperatur ab.

b) Gieß in ein enges Reagenzglas etwas Wasser, tauche es in die Kältemischung und bewege es andauernd $\sim$ 3 cm weit auf und ab. Tauche das Thermometer in das Wasser, beobachte das allmähliche Fallen des Quecksilbers, lies, sobald sich etwas Eis gebildet hat, die Temperatur ab und nimm das Thermometer heraus.

c) Schmelze das Eis im Reagenzglas, füge 3 bis 4 Fingerspitzen Kochsalz zum Wasser und setze das Glas wieder in die Kältemischung. Miß die Temperatur, bei der sich jetzt Eis bildet.

d) Wiederhole den Versuch mehrmals und vergrößere dabei nach und nach die Menge des hinzugefügten Kochsalzes.

Bemerkung. Mit der Kältemischung in der großen Porzellanschale können je vier Schüler arbeiten.

8. Aufgabe. *Prüfe den Siedepunkt des Thermometers.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Kochflasche mit langem Hals oder Siedekolben nach MARTIUS ($500\,cm^3$).	Barometer.
Kork.	Heißes Wasser.
Korkbohrer.	Bunsenbrenner.
Rundfeile.	Gasschlauch.
Glasrohr von 8 mm Durchmesser.	Drahtnetz mit Asbesteinlage.
Dreikantfeile.	Dreifuß.
Schnittbrenner.	Spiegelstreifen.
	Kochsalz.
	Becherglas.

Anleitung. **a)** Verschließe die Flasche mit einem doppelt durchbohrten Stopfen und führe durch die eine Öffnung eine knieförmig gebogene Glasröhre und durch die andre Öffnung das Thermometer. Ist das Loch in dem Stopfen zu weit, so streife man über die Thermometerröhre einen schmalen Ring aus Kautschuk (kurzes Schlauchstück) oder einen Kork. Passe die Stellung des Thermometers so ab, daß die Kugel ∼ 4 cm über dem Wasserspiegel und, wenn es geht, der Teilstrich 100 nur ∼ 2 bis 3 mm aus dem Stopfen herausragt. Stelle den Kolben auf das Drahtnetz, das auf dem Dreifuß liegt (Fig. 161).

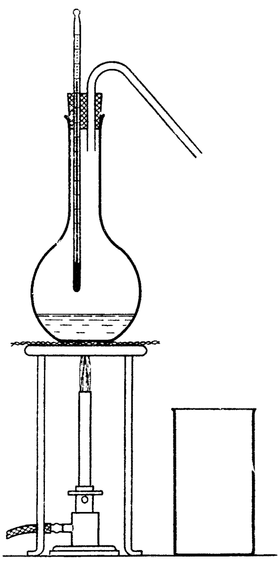

Fig. 161.

b) Fülle in den Kolben etwas heißes Wasser, setze den Stopfen auf, drehe das Thermometer so, daß man es bequem ablesen kann, und gib dem Abdampfrohr eine solche Richtung, daß der Dampf keinen Mitschüler belästigen oder verletzen kann.

c) Erhitze das Wasser bis zum Sieden, beobachte dabei sorgfältig alle Vorgänge im Wasser und an der Flasche und auch das Thermometer. Setze ein Becherglas unter das Ende des Abdampfrohrs, um das Wasser, das sich darin verdichtet, aufzufangen. Drehe, sobald das Sieden eingetreten ist, die Flamme etwas kleiner.

d) Lies, nachdem das Wasser ∼ 10 bis 15 Minuten gesotten hat, wie in Aufgabe 6 (c) den Stand t' der Quecksilberkuppe im Thermometer und dann den Barometerstand ab.

e) Berechne aus dem reduzierten Barometerstand b mm die Siedetemperatur t^0 C nach der Formel

$$t = 100 + 0{,}0375\,(b - 760)$$

und den Siedepunktsfehler des Thermometers $\Delta = t' - t$.

f) Ziehe das Thermometer so hoch empor, daß nur noch die Kugel in den Wasserdampf hineinragt. Laß die Thermometerröhre in dieser Stellung erkalten und prüfe, ob dies auf den Stand des Quecksilbers einen Einfluß hat. Warum darf also der Quecksilberfaden so wenig wie möglich aus dem Wasserdampfe herausragen?

g) Schiebe nun vorsichtig die Thermometerkugel in das siedende Wasser und lies nach ~ 10 Minuten den höchsten Stand des Thermometers ab. Steht jetzt die Qecksilberkuppe höher als bei Versuch (d)?

h) Hat das Wasser jetzt noch dasselbe Aussehen wie vor dem Sieden? Woher rührt die Trübung? Wie ist wohl die Erhöhung des Siedepunkts zu erklären?

i) Füge zum Wasser ~ 5 gr Kochsalz hinzu und bring es wieder zum Sieden. Schiebe die Thermometerkugel in die Flüssigkeit und lies den Stand des Thermometers ab. Nimm das Thermometer heraus und wische die Kugel ab. Setz es wieder so in die Flasche ein, daß die Kugel nur im Dampf steht und lies den Stand des Thermometers ab. Wie wirkt der Zusatz von Kochsalz auf den Siedepunkt des Wassers und auf die Temperatur des Dampfes ein? Darf man also bei der Bestimmung des Siedepunkts die Thermometerkugel in das Wasser tauchen?

Bemerkungen. Über besondere Siedegefäße für die Bestimmung des Siedepunkts vgl. Crew-Tatnall *112 Nr. 50.* Gilley, *191 Nr. 25.* Hall, *Descript. List 54 Nr. 39 u. 88 Nr. 80.* Schuster-Lees, *Intermed. Course 79 Nr. 15.* Watson, *Elem. Pract. Phys. 151 Nr. 122.* Über die Bereitstellung von heißem Wasser vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4 S. 229.

9. Aufgabe. *Einige Übungen im Ablesen des Thermometers.*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Worthington *161 Nr. 10—12.*

Geräte. Heißes Wasser. 2 Bechergläser (600 cm³). Thermometer. | Großer Kork. Glasstab.

Anleitung. a) Fülle das Becherglas zur Hälfte mit kaltem Wasser, laß ein Blatt Papier oder einen Kork darauf schwimmen und gieße dann recht behutsam längs einem Glasstab, der den Kork lose berührt, heißes Wasser darauf.

b) Tauche das Thermometer, ohne die Flüssigkeit stark zu bewegen, so tief wie möglich ein und lies die Gradzahl ab.

c) Tauche nur die Kugel in die obere Schicht und lies deren Wärmegrad ab.

d) Rühre das Wasser tüchtig um und lies wiederum das Thermometer ab.

e) Muß man bei der Bestimmung der Temperatur einer Flüssigkeit diese gut umrühren?

f) Stelle Wasser von 20° bis 60° C, aber von keiner höhern Temperatur als 60° C, her und laß durch Eintauchen der Hand einen Mitschüler die Warmheit nach dem Gefühl abschätzen.

g) Reinige das Thermometer gut und halte es 10 Minuten in den geschlossenen Mund und lies dann die Temperatur ab.

Bemerkungen. Der Hauptzweck dieser lehrreichen und unterhaltenden Übungen ist, den Schüler an ein sicheres und rasches Ablesen des Thermometers zu gewöhnen. Über das Aufeinanderschichten von Flüssigkeiten vgl. Hahn, *Freihandversuche 2, 107 ff.* Über die Bereitstellung von heißem Wasser vgl. Bemerkungen zu Aufg. 4 S. 229.

III. Ausdehnung der Körper.

10. Aufgabe. *Wie ändert sich der Raum einer gegebenen Flüssigkeitsmasse mit ihrer Temperatur? Wie groß ist der Ausdehnungskoeffizient des Glyzerins?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wage. Gewichtsatz. Dichtefläschchen (50 cm³). 2 Bechergläser (600 cm³). Thermometer. Glyzerin (oder Terpentinöl). Pinsel. Quecksilber. Quecksilberbrett (vgl. S. 176). Großer eiserner Dreifuß. Kleiner Dreifuß aus Glas oder Eisendraht oder eine Brücke aus Eisendrahtgaze. Kristallisations- oder Abdampfschale. Fließpapier. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Wasser von Zimmertemperatur.

Anleitung. a) Spüle das Dichtefläschchen der Reihe nach mit Ammoniak, verdünnter Schwefelsäure, Wasser, Alkohol und Äther aus, wische die Außenseite ab und trockne es durch einen hindurchgesaugten Luftstrom.

b) Bedecke beide Wageschalen mit Fließpapier, setze auf die linke Schale das Dichtefläschchen und tariere es sorgfältig aus. Fasse bei allen Versuchen das Fläschchen so wenig wie möglich und dann nur am Hals an.

c) Fülle das Dichtefläschchen mit reinem trocknem Quecksilber und entferne alle Luftblasen durch Schütteln oder mit einem reinen trockenen Pinsel oder einem reinen Eisendraht. Setze den Stopfen nicht auf.

d) Lege auf den großen eisernen Dreifuß das Drahtnetz mit Asbesteinlage und stelle das Becherglas darauf. Setze in das Glas einen kleinen Dreifuß aus Glas oder Eisendraht oder eine kleine

Brücke aus Eisendrahtgaze, darauf eine kleine Kristallisations- oder Abdampfschale und da hinein das gefüllte Dichtefläschchen (Fig. 162). Fülle das Becherglas bis zum Hals des Dichtefläschchens mit Wasser von Zimmerwärme. Setze den Stopfen auf das Dichtefläschchen und entferne durch Austupfen mit einem Stück Fließpapier das Quecksilber, das über der Marke steht. Rühre mit dem Thermometer das Wasser um und lies nach ~ 5 Minuten die Temperatur $t_1{}^0$ C sorgfältig ab.

e) Nimm das Dichtefläschchen aus dem Bade, wische die Außenseite tüchtig ab und bestimme mit der Wage die Masse m_1 gr des Quecksilbers.

f) Setze das Dichtefläschchen wieder auf die Schale und das Thermometer in das Becherglas und erhitze das Wasser bis zum Sieden. Dehnen sich das Quecksilber und das Glas aus? Was von beiden dehnt sich stärker aus? Findet das Quecksilber noch hinreichenden Raum im Fläschchen? Wo bleibt das überschüssige Quecksilber? Laß das Wasser ~ 10 Minuten lang sieden und lies dann die Temperatur $t_2{}^0$ C sorgfältig ab. Bringe das Quecksilber durch Austupfen mit Fließpapier wieder bis zur Marke.

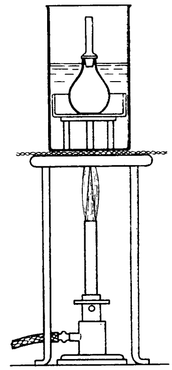

Fig. 162.

g) Drehe den Gashahn zu, laß das Wasser sich erst etwas abkühlen, nimm das Dichtefläschchen heraus, laß es weiter erkalten und bestimme mit der Wage die Masse (m_2 gr) des Quecksilbers. Welche Quecksilbermasse ist infolge des Erwärmens aus dem Fläschchen ausgeflossen? $(m_1 - m_2)$ gr.

h) Wir wollen die Anzahl Kubikzentimeter, die von einem Gramm eines Stoffes ausgefüllt werden, d. h. den umgekehrten Wert der Dichte eines Stoffes, seinen *spezifischen Raum* nennen und mit v bezeichnen. Bedeuten m_1, m_2 gr die Massen, ϱ_1, ϱ_2 die Dichten, V_1, V_2 die Räume und v_1, v_2 die spezifischen Räume des Quecksilbers bei den Temperaturen $t_1{}^0$ und $t_2{}^0$, so ist $m_1 = \varrho_1 V_1 = V_1/v_1$, $m_2 = \varrho_2 V_2 = V_2/v_2$ und mithin

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V_2}{V_1}.$$

Bezeichnet 3β den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Glases, aus dem das Dichtefläschchen hergestellt ist, und V_0 den Raum des Fläschchens bei 0^0 C, so bestehen die beiden Gleichungen

$$V_1 = V_0(1 + 3\beta t_1) \text{ und } V_2 = V_0(1 + 3\beta t_2).$$

Da β sehr klein ist, ergibt sich daraus

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1 + 3\beta t_2}{1 + 3\beta t_1} = 1 + 3\beta(t_2 - t_1)$$

also

$$\frac{m_2}{m_1} = [1 + 3\beta(t_2 - t_1)]\frac{v_1}{v_2}$$

und

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2} + 3\beta(t_2 - t_1)\frac{m_1}{m_2}.$$

Der Ausdehnungskoeffizient α des Quecksilbers ist die Raumzunahme eines Kubikzentimeters Quecksilber bei der Temperaturerhöhung 1° C und mithin

$$\alpha = \frac{v_2 - v_1}{v_1(t_2 - t_1)}$$

oder

$$\frac{v_2}{v_1} - 1 = \alpha(t_2 - t_1).$$

Setzt man für v_2/v_1 den soeben berechneten Wert ein, so erhält man

$$\alpha(t_2 - t_1) = 3\beta(t_2 - t_1)\frac{m_1}{m_2} + \frac{m_1 - m_2}{m_2},$$

mithin für den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers

$$\alpha = 3\beta\frac{m_1}{m_2} + \frac{1}{t_2 - t_1}\cdot\frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

und für den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Glases, aus dem das Dichtefläschchen hergestellt ist,

$$\beta = \frac{1}{3}\alpha\frac{m_2}{m_1} - \frac{1}{3}\frac{1}{t_2 - t_1}\cdot\frac{m_1 - m_2}{m_1}.$$

i) Unsere Messungen können wir auf zweierlei Weise verwerten, wir können entweder den Wert von β nachschlagen und α ausrechnen, oder auch umgekehrt verfahren. Da aber die heutigen Glassorten sehr verschieden zusammengesetzt sind und deshalb keine einheitliche Beschaffenheit haben, so kann man andern Arbeiten keinen guten Wert für β entnehmen. Die Ausdehnung des Quecksilbers hingegen hat man auf das sorgfältigste untersucht (warum?), und man kann daher für α einen recht zuverlässigen Wert angeben.

k) Schlage den Wert des Ausdehnungskoeffizienten α des Quecksilbers nach und berechne daraus den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Glases, woraus das Dichtefläschchen hergestellt ist.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . . Dichtefläschchen Nr. . . .
Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers $\alpha = 0{,}000181$.
Masse des Quecksilbers:
1. Messung $m_1 = \ldots$ [gr].
2. Messung $m_2 = \ldots$ [gr].

Temperatur des Quecksilbers:
1. Messung $t_1 = \ldots {}^0$C.
2. Messung $t_2 = \ldots {}^0$C.
Linearer Ausdehnungskoeffizient des Glases $\beta = \ldots.$

m) Gieße das Quecksilber in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

n) Spüle das Dichtefläschchen mit etwas Glyzerin aus, fülle es dann ganz mit dieser Flüssigkeit und entferne alle Luftblasen.

o) Verfahre mit dem Dichtefläschchen, das mit Glyzerin gefüllt ist, genau wie bei den Versuchen (d) bis (g).

p) Bei den Temperaturen $t_3{}^0$ und $t_4{}^0$ C füllen m_3 und m_4 gr Glyzerin das Dichtefläschchen. Nach den Rechnungen, die wir bei (h) durchgeführt haben, ist daher der Ausdehnungskoeffizient des Glyzerins

$$\alpha = 3\beta \frac{m_3}{m_4} + \frac{1}{t_4 - t_3} \frac{m_3 - m_4}{m_4}.$$

q) Berechne den Ausdehnungskoeffizienten des Glyzerins und nimm dabei für β den Wert, den du bei (k) gefunden hast.

r) Gieße das Glyzerin in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Reinige erst das Dichtefläschchen, dann das Becherglas und stelle beides auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. Man kann die Aufgabe in zwei Übungen zerlegen; in der ersten bestimmt der Schüler den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Glases und in der zweiten, wo er dasselbe Dichtefläschchen benutzt, den Ausdehnungskoeffizienten des Glyzerins.

Nimmt man bei den Versuchen (d) und (o) Wasser, das kälter als die Zimmerluft ist, so fließt beim Wägen die Flüssigkeit über.

11. Aufgabe. *Wie ändert sich bei gleichbleibendem Druck der Raum einer gegebenen Luftmasse mit der Temperatur? Wie groß ist der Ausdehnungskoeffizient der Luft?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Trichter.
Eis.
Hohes Becherglas.
Gestell mit Ring.
Drahtnetz mit Asbesteinlage.
Bunsenbrenner.
Gasschlauch.
Haarröhrchen (vgl. S. 239).

Anleitung. a) Miß sorgfältig die Länge der ganzen Röhre; berücksichtige dabei, daß das geschlossene Ende nicht die Gestalt eines Zylinders hat.

b) Verschließe den Hals des Trichters mit einem kurzen Kautschukschlauch und einem Quetschhahn, setze den Trichter in den Ring des Gestells und stelle ein Becherglas darunter. Fülle den Trichter mit zerkleinertem Eis, gieße Wasser darauf und stelle das Haarröhrchen behutsam so hinein, daß das offene Ende nach oben gekehrt ist, und der Luftraum, den der Schwefelsäurefaden absperrt, vollständig von Eis und Wasser umgeben ist. Schiebe über die Röhre einen Kork und befestige sie mit einer Klemme in ihrer Stellung. Klopfe nach $\sim$ 5 Minuten mit dem Bleistift schwach gegen die Röhre und miß den Abstand des offnen Endes von den beiden Enden des Säurefadens.

c) Nimm die Röhre aus dem Eis, entferne den Trichter, lege auf den Ring das Drahtnetz und setze ein Becherglas darauf. Befestige das Haarröhrchen lotrecht so an dem Stativ, daß es mit dem geschlossenen Ende in das Becherglas hineinragt, gieße so viel kaltes Wasser hinein, daß der ganze abgeschlossene Luftraum vom Wasser umspült wird. Rühre das Wasser sorgfältig um, lies nach $\sim$ 5 Minuten das Thermometer ab und miß die Abstände des offnen Endes der Röhre von den Enden des Säurefadens.

d) Erwärme unter fleißigem Umrühren das Wasser langsam auf 25°, nimm die Flamme weg und miß wieder die Temperatur des Wassers und die Abstände des offnen Rohrendes von den Fadenenden.

e) Erwärme das Wasser weiter und wiederhole die Messungen bei den Temperaturen 50°, 75° C und dem Siedepunkt.

f) Laß, wenn es die Zeit gestattet, das Wasser sich abkühlen und wiederhole die Messungen bei denselben Temperaturen wie beim Erwärmen.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Haarröhrchen Nr. . . . Länge des ganzen Röhrchens $l = \ldots$ [cm].

Temperatur t^0 C	Inneres Fadenende l_1 cm	Äußeres Fadenende l_2 cm	Fadenlänge $l_2 - l_1$	Länge der abgesperrten Luftsäule $l - l_1 = V$ [q cm³]	Ausdehnungskoeffizient der Luft α
				Mittel	. . . . . .

h) Wir wollen annehmen, daß der Querschnitt $q\,\text{cm}^2$ der Röhre überall gleich groß sei; dann ist die Länge der abgesperrten Luftsäule ein Maß für den Raum V, der hier nicht in cm³, sondern mit der Einheit ($q\,\text{cm}^3$) gemessen wird.

i) Berechne aus der 1. und 3., der 2. und 4., der 3. und 5. Messung usw. die Verlängerung der Luftsäule für eine Steigerung der Temperatur um 1° C, nämlich

$$\frac{V_{n+\nu} - V_\nu}{t_{n+\nu} - t_\nu}$$

und daraus den Ausdehnungskoeffizienten, d. h. die Verlängerung von 1 cm Länge bei einer Erhöhung der Temperatur um 1° C

$$\alpha = \frac{V_{n+\nu} - V_\nu}{V_\nu\,(t_{n+\nu} - t_\nu)}.$$

Nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

k) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = V$ und $y = t$. Welche Kurve geht durch alle gezeichneten Punkte? Bei welcher Temperatur würde die eingeschlossene Luftmasse keinen Raum einnehmen? *Absoluter Nullpunkt. Absolute Temperatur.*

Bemerkungen. Das dickwandige Haarröhrchen hat die Länge 15 bis 20 cm und höchstens 1 mm innern Durchmesser. Es ist mit einer Millimeterteilung versehen und an einem Ende geschlossen. Ungefähr in der Mitte der Röhre steht ein Schwefelsäurefaden von ~ 1 cm Länge. Es ist zweckmäßig, in die Endkuppe der Röhre einen kleinen Tropfen Schwefelsäure zu bringen, von dem aus man die Länge der Luftsäule rechnet. Die Lage des Tropfens kann man mit einer Tropfröhre ändern, deren Spitze ganz dünn ausgezogen ist.

Benutzt man statt des Schwefelsäurefadens einen Quecksilberfaden, so muß man vor dem Zuschmelzen die Röhre mit einer warmen Lösung von Kaliumdichromat in starker Schwefelsäure und dann mit destilliertem Wasser sorgfältig ausspülen. Man erwärmt darauf die Röhre vorsichtig und läßt gleichzeitig einen Luftstrom hindurchsaugen, der vorher durch eine Chlorkalziumröhre gegangen ist. Durch Saugen an der Trockenröhre zieht man einen 1 bis 2 cm langen Quecksilberfaden in die Mitte der Röhre, entfernt die Trockenröhre von dem einen Ende der Röhre und schmelzt das andere Ende zu. Man verwende nur ganz reines und trockenes Quecksilber.

IV. Wärmemenge.

12. Aufgabe. *Welche Mischungstemperatur entsteht, wenn man gleiche Wassermassen von verschiedenen Wärmegraden miteinander mischt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 2 gleiche dünnwandige Bechergläser (~ 600 cm³).
Becherglas.
Wage.
Kaltes Wasser (Eis).
Heißes Wasser.
Pipette.
Thermometer.
2 Suberitscheiben oder große Korke- oder Unterlagen aus Filz oder Watte.

Anleitung. **a)** Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und tariere sie aus.

b) Fülle das linke Becherglas nicht ganz bis zur Hälfte mit Wasser, dessen Temperatur ~ 6° unter der Zimmerwärme liegt.

c) Gieße in das andere Glas ebensoviel Wasser, dessen Temperatur ~ 6° über der Zimmerwärme liegt, und gleiche diese Wassermasse mit der Pipette genau ab.

d) Nimm beide Bechergläser von der Wage und setze sie auf Suberitscheiben. Miß sorgfältig unter behutsamem Umrühren die Temperatur t_1° C des kältern Wassers und dann die Temperatur

$t_2{}^0$ C des wärmern Wassers, schätze dabei die Zehntelgrade ab. Gieße sofort nach diesen Messungen je nach der Anweisung des Lehrers entweder das warme Wasser in das kalte oder das kalte in das warme. Rühre mit dem Thermometer langsam und behutsam um und lies sorgfältig die Mischungstemperatur $\tau_m{}^0$ C unter Schätzung der Zehntelgrade ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Becherglas Nr. . . . und Nr. . . . Zimmerwärme . . . ⁰ C.

Temperatur des kalten Wassers $t_1{}^0$ C	Temperatur des warmen Wassers $t_2{}^0$ C	Mischungstemperatur $\tau_m{}^0$ C	Temperatursteigerung $\tau_m - t_1$	Temperaturabnahme $t_2 - \tau_m$	Mitteltemperatur $\tau = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	Unterschied $\tau - \tau_m$
					Mittel	. . . . . .

f) Um wieviel Grad hat sich das warme Wasser abgekühlt und um wieviel Grad das kalte Wasser erwärmt? Welche Warmheitsänderung ist die größere? Wie ist der Unterschied zu erklären? Erwärmung des Gefäßes.

g) Spüle die Bechergläser aus und stülpe sie auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. Man muß dünnwandige Bechergläser und große Wassermassen verwenden. Über die Beschaffung von heißem Wasser vgl. die Bemerkung zu Aufgabe 4 auf S. 229. Kann man im Sommer das kältere Wasser nicht ohne weiteres der Wasserleitung entnehmen und will man es nicht durch Einwerfen von reinen Eisstückchen herstellen, so fülle man das abzukühlende Wasser in größere Blechkannen, die man in einem Blechkasten zwischen Eis packt. Das Wasser, dessen Temperatur über der Zimmerwärme, und das Wasser, dessen Temperatur unter der Zimmerwärme liegt, mischt man in größern Kannen, die mit den Aufschriften „warm“ und „kalt“ versehen sind. Ihnen entnehmen die Schüler das Wasser. Will oder kann man nicht mit abgekühltem Wasser arbeiten, so lasse man die Versuche mit Wasser von Zimmerwärme und Wasser von 30 bis 40⁰ ausführen. Man lasse die Hälfte der Schüler das kältere Wasser in das wärmere und die andere Hälfte das wärmere in das kältere gießen und nehme dann aus sämtlichen Unterschieden $\tau - \tau_m$ das Mittel. Hat man hinreichend große Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15), so kann man damit die Mischungstemperatur bestimmen lassen.

13. Aufgabe. *Welche Mischungstemperatur entsteht, wenn man ungleiche Wassermassen von verschiedenen Temperaturen miteinander mischt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufg. 12, dazu Gewichtsatz.

Anleitung. **a)** Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und tariere sie aus.

b) Fülle in das linke Becherglas $m_1 = 300$ [gr] Wasser, dessen Temperatur 8^0 unter der Zimmerwärme liegt.

c) Fülle in das andere Becherglas $m_2 = 200$ [gr] Wasser, dessen Temperatur 12^0 über der Zimmerwärme liegt.

d) Nimm beide Gläser von der Wage und setze sie auf Suberitscheiben. Bestimme unter behutsamem Umrühren sorgfältig unter Schätzung der Zehntelgrade die Temperatur $t_1{}^0$ C des kältern und die Temperatur $t_2{}^0$ C des wärmern Wassers.

e) Gieße sofort nach den Messungen das kältere Wasser in das wärmere, rühre mit dem Thermometer langsam und behutsam um und lies sorgfältig unter Schätzung der Zehntelgrade die Mischungstemperatur $\tau_m{}^0$ C ab.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Becherglas Nr. . . . und Nr. . . . Zimmerwärme . . . ^{0} C.

Masse des kalten Wassers m_1 gr	Temperatur des kalten Wassers $t_1{}^0$ C	Masse des warmen Wassers m_2 gr	Temperatur des warmen Wassers $t_2{}^0$ C	Gesamte Wassermasse $m_1 + m_2$

Mischungstemperatur ber. τ^0 C	Mischungstemperatur beob. $\tau_m{}^0$ C	Unterschied $\tau - \tau_m$	Aufgenommene Wärmemenge $Q_1 = m_1(\tau_m - t_1)$ [gr kal]	Abgegebene Wärmemenge $Q_2 = m_2(t_2 - \tau_m)$ [gr kal]	Unterschied $Q_2 - Q_1$
	Mittel	. . . .		Mittel	. . . .

g) Die Warmheit $t_1{}^0$ der Wassermasse m_1 gr verteilt sich bei der Mischung auf die Wassermasse $(m_1 + m_2)$ gr, und es entfällt auf jedes Gramm des Gemisches die Warmheit $t_1 \cdot m_1/(m_1 + m_2)$. Die Warmheit $t_2{}^0$ der Wassermasse m_2 gr verteilt sich bei der Mischung auf $(m_1 + m_2)$ gr Wasser und es entfällt auf jedes Gramm des Gemisches die Warmheit $t_2 \cdot m_2/(m_1 + m_2)$. Die Warmheit des Gemisches ist mithin

$$\tau = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

*Richmann*sche *Regel.* Berechne danach die Mischungstemperatur. Um wieviel Grad weicht die beobachtete Mischungstemperatur τ_m von der berechneten τ ab? Wie ist diese Abweichung zu erklären?

h) Aus der *Richmannschen Regel* folgt

$$m_1(\tau - t_1) = m_2(t_2 - \tau)$$

Hypothese des Wärmestoffes. Wärmemenge. Wärmeeinheit. Grammkalorie (gr kal_{15}).

i) Berechne die Wärmemenge, die das kältere Wasser aufgenommen hat, $Q_1 = m_1 (\tau_m - t_1)$ [gr kal], und die Wärmemenge, die das wärmere Wasser abgegeben hat, $Q_2 = m_2 (t_2 - \tau_m)$ [gr kal].

k) Wieviel Grammkalorien sind beim Mischen verloren gegangen? Erkläre den Verlust $Q_2 - Q_1$.

l) Spüle die Bechergläser aus und stülpe sie auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 12 S. 240. Man kann auch Wasser von Zimmerwärme und Wasser von 30 bis 40° C miteinander mischen und die Mischung in einem Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15) ausführen lassen. Man bilde aus allen berechneten Unterschieden $\tau - \tau_m$ und $Q_2 - Q_1$ die Mittelwerte. Da bei der Berechnung von Q_1 und Q_2 die Warmheitsunterschiede mit großen Zahlen vervielfacht werden, so verwirren die auftretenden großen Unterschiede $Q_2 - Q_1$ leicht die Schüler. Man kann diesen ungünstigen Eindruck mildern, wenn man die Wärmemengen in kgkal messen oder anstatt des Unterschiedes $Q_2 - Q_1$ das Verhältnis Q_2/Q_1 berechnen läßt, doch sind beide Auswege bedenklich. Bei den Schwierigkeiten, die der Begriff der Wärmemenge den Schülern bereitet, wäre es verfehlt, die Aufgaben 12 und 13 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu behandeln. Man lasse den Schülern reichlich Zeit, sich in die neuen Vorstellungen hineinzuleben.

Über Wärmeeinheiten vgl. KOHLRAUSCH[10] *193* und E. WARBURG, *Referat über die Wärmeeinheit, Leipzig, J. A. Barth, 1900.*

14. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien muß man einem Gramm Kupfer entziehen, um seine Temperatur um einen Zentigrad zu erniedrigen?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.
- Zylinder aus dünnstem (Schablonen-)Messingblech, außen poliert und vernickelt, 7 cm hoch und 4 cm weit.
- Suberitscheibe oder großer Kork (Spund).
- Wage.
- Gewichtsatz.
- Kupferdraht oder Kupferdrahtnetz oder Schrot oder kleine eiserne Nägel.
- Thermometer, womöglich in $^1/_{10}$ Grade geteilt.
- Probierröhrchen von 3 cm innerer Weite und 15 cm Länge.
- Becherglas (600 cm³).
- Kleines Becherglas.
- Dreifuß.
- Drahtnetz mit Asbesteinlage.
- Kaltes Wasser.
- Heißes Wasser.
- Beißzange.
- Bunsenbrenner.
- Gasschlauch.
- Pipette.
- Watte.
- Wischtuch.
- Tapeziererblei.
- Barometer.

Anleitung. a) Tariere ein weites trockenes Probierröhrchen auf der Wage aus. Schneide ∾ 30 gr Kupferdraht (Drahtnetz) in kleine, höchstens 1 cm lange Stücke, fülle sie in die Röhre und bestimme sorgfältig mit der Wage ihre Masse m_c gr.

b) Stecke das Thermometer in die Kupferstückchen und schüttele die Röhre, damit sich die Teilchen um die Thermometerkugel lagern. Verschließe mit einem Wattebausch die Mündung des Probierröhrchens und stelle es in ein tiefes Becherglas voll siedenden Wassers (Fig. 163). Warte, bis die Temperatur des Kupfers 100^0 oder dauernd ein wenig unter 100^0 ist, schüttele dabei von Zeit zu Zeit die Kupferstückchen etwas durcheinander.

c) Laß den Mitarbeiter das Kalorimeter auf der Wage austarieren. Am besten stellt man sich aus Tapeziererblei ein dauerndes Gegengewicht her. (Soll der Wasserwert des Kalorimeters berücksichtigt werden, so ist seine Masse [m_k gr] zu bestimmen.)

d) Fülle in das Kalorimeter $m_w = 40$ [gr] Wasser, dessen Temperatur $\sim 10^0$ unter der Zimmerwärme liegt. (Die Wassermenge soll die Kugel des Thermometers bedecken). Stelle das Kalorimeter möglichst weit von der Flamme entfernt auf eine Suberitscheibe.

e) Lies sorgfältig die Temperatur (t^0 C) des Kupfers ab, sobald sie sich nicht mehr ändert. Tauche dann das Thermometer nur mit der Kugel in das heiße Wasser und lies sorgfältig die Temperatur t'^0 C ab.

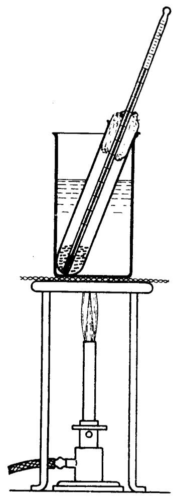

Fig. 163.

f) Kühle nun das Thermometer mit Leitungswasser ab und wische es tüchtig trocken. Stelle das Thermometer in das Kalorimeter, lasse es so lange darin stehen, bis es sicher die Temperatur des Wassers angenommen hat, wische den Beschlag auf der äußern Seite des Kalorimeters ab und lies dann unter Schätzung der Zehntelgrade die Temperatur ($t_w{}^0$ C) des Wassers sehr genau ab. (Sie soll $\sim 6^0$ unter der Zimmerwärme liegen.) Laß das Thermometer im Wasser stehen und stelle das Kalorimeter neben das Heizgefäß.

g) Schütte so rasch wie möglich nach dieser Ablesung die Drahtstücke in das Kalorimeter, rühre mit dem Thermometer langsam aber stetig um und lies nach $\sim {}^1/_2$ Minute die Mischungstemperatur τ^0 C sehr sorgfältig unter Schätzung der Zehntelgrade ab.

h) Schreibe die Beobachtungsergebnisse in folgender Weise auf:

Kalorimeter Nr. . . . Thermometer Nr. . . .
Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . .
Zimmerwärme . . . ^{0} C.

Masse des Kupfers	$m_c = \ldots$ [gr].
Temperatur des Kupfers	$t = \ldots{}^0$ C.
Masse des Wassers	$m_w = \ldots$ [gr].
Temperatur des Wassers	$t_w = \ldots{}^0$ C.
Mischungstemperatur	$\tau = \ldots{}^0$ C.

i) Die Ablesung des Thermometers, das in den Drahtstückchen stand, liefert nicht immer die wirkliche Temperatur (t_c° C) des Kupfers. Lies den Barometerstand b mm ab und berechne daraus nach Aufgabe 8, S. 233 die wirkliche Siedetemperatur (t_b° C) des Wassers. Die wahre Temperatur des Kupfers ist dann $t_c = t_b - (t' - t)$.

k) Um wieviel Grad hat sich beim Mischen das Wasser erwärmt? Welche Wärmemenge hat das Wasser aufgenommen? Wer hat diese Wärmemenge geliefert? Um wieviel Grad hat sich das Kupfer abgekühlt? Welche Wärmemenge hat es dabei abgegeben? Welche Wärmemenge würde die ganze Kupfermasse liefern, wenn sie nur um 1° C erkaltete? Welche Wärmemenge gibt also 1 gr Kupfer ab, wenn es sich um 1° C abkühlt? *Spezifische Wärme.*

Wie groß ist die spezifische Wärme des Kupfers?

l) Schreibe die Berechnung in folgender Form auf:

Temperatursteigerung des Wassers	$\tau - t_w = \ldots$ ° C.
Aufgenommene Wärmemenge des Wassers	$Q_w = m_w (\tau - t_w) = \ldots$ [grkal].
Barometerstand	$b = \ldots$ [mm].
Wahre Siedetemperatur des Wassers	$t_b = \ldots$ ° C.
Abgelesene Siedetemperatur des Wassers	$t' = \ldots$ ° C.
Abgelesene Temperatur des Kupfers	$t = \ldots$ ° C.
Wahre Temperatur des Kupfers	$t_c = t_b - (t' - t) = \ldots$ ° C.
Temperaturerniedrigung des Kupfers	$t_c - \tau = \ldots$ ° C.
Die vom Kupfer bei einer Temperaturerniedrigung von 1° abgegebene Wärmemenge	$Q_w/(t_c - \tau) = \ldots$ [grkal].
Die von 1 gr Kupfer bei 1° Temperaturerniedrigung abgegebene Wärmemenge	$c = Q_w/m_c (t_c - \tau) = \ldots$ [grkal].

m) Hat das Wasser die ganze Wärmemenge, die das Kupfer abgegeben hat, aufgenommen? Welche Wärmemengen sind auf das Gefäß und das Thermometer übergegangen?

n) Wäge das trockne leere Kalorimeter. Ist seine Masse m_k gr und die spezifische Wärme des Messings $c_k = 0{,}093$, so nimmt das Kalorimeter bei einer Temperaturerhöhung um 1° C die Wärmemenge $c_k m_k$ auf. *Wasserwert des Kalorimeters* μ_k.

o) Die Masse von 1 cm³ Quecksilber ist 13,6 gr und, da die spezifische Wärme des Quecksilbers 0,033 ist, der Wasserwert von 1 cm³ Quecksilber 0,45. Die Masse von 1 cm³ Glas ist 2,5 gr und, da die spezifische Wärme des Glases 0,19 ist, der Wasserwert von 1 cm³ Glas 0,47. Jedes Kubikzentimeter eines Thermometers hat also den Wasserwert 0,46. Tauchen bei der Bestimmung der Wassertemperatur V cm³ des Thermometers in die Flüssigkeit, so ist der *Wasserwert des Thermometers* nahezu $\mu_t = 0{,}46\, V$.

p) Stelle das Thermometer in das Wasser im Kalorimeter und lies ab, bis zu welchem Teilstrich es eintaucht. Tariere auf der Wage ein Becherglas mit Wasser aus, senke das Thermometer mit einem Gestell bis zu dem soeben festgestellten Teilstrich ein und bestimme die Gewichtszunahme, die das Becherglas infolge des Abtriebes erleidet (vgl. Aufg. 3, S. 179).

Bequemer ist es, das Thermometer bis zu dem bestimmten

Teilstrich in eine Bürette zu tauchen, die mit Wasser gefüllt ist, und daran die verdrängte Wassermasse abzulesen.

q) Den Einfluß des Kalorimeters und des Thermometers auf die Messung berücksichtigen wir, wenn wir annehmen, daß die Wassermenge im Kalorimeter nicht m_w gr, sondern $(m_w + \mu_k + \mu_t)$ gr sei. Berechne unter Berücksichtigung dieser Verbesserung aus den Messungsergebnissen, die in (h) zusammengestellt sind, von neuem die spezifische Wärme des Kupfers.

r) Trockne mit Fließpapier sorgfältig die Kupferstückchen und lege sie an den Ort, den der Lehrer dafür angewiesen hat. Gieße das Wasser aus den Gefäßen aus und stelle sie auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. Über die Messung von Wärmemengen ist Kohlrausch[10] *193* und Ostwald-Luther *187* und über Kalorimeter und Erhitzer für Schülerübungen auch Schuster-Lees, *Intermed. Course 88 Nr. 17 u. 98 Nr. 19* zu vergleichen. Ich habe stets das kleine Kalorimeter von Worthington *177 Nr. 22* benutzen lassen; die Ergebnisse waren zwar immer durchaus gut, doch darf man mit den geschützten größern Kalorimetern, die bei den Versuchen über Stromwärme (Teil 10, Aufg 15) benutzt werden und die Verwendung größerer Massen gestatten, voraussichtlich noch bessere Ergebnisse erwarten.

Ohne Berücksichtigung der Wasserwerte von Kalorimeter und Thermometer läßt sich die Aufgabe eben noch in einer Stunde erledigen. Über die Beschaffung von warmem und kaltem Wasser vgl. Aufg. 4 u. 12 S. 229 u. 240.

V. Zustandsänderungen.

15. Aufgabe. *Bei welcher Temperatur schmilzt Naphthalin?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Glasröhre mit Naphthalin.	Dreifuß.
Thermometer.	Bunsenbrenner.
Durchbohrter Kautschukstopfen.	Gasschlauch.
Becherglas (250 cm³).	Bunsengestell mit Klemme.
Drahtnetz mit Asbesteinlage.	Kautschukring oder Garn.
	Glasstab.

Fig. 164.

Anleitung. a) Stecke das Thermometer durch den Stopfen und befestige mit einem Kautschukring die Naphthalinröhre so am Thermometer, daß das Ende des ausgezogenen Teiles neben der Kugel liegt (Fig. 164). Setze das Becherglas, das mit Wasser gefüllt ist, auf das Drahtnetz, das auf dem Dreifuß liegt, und klemme den Stopfen so am Gestell fest, daß die untern Teile des Thermometers und der Röhre ins Wasser tauchen.

b) Erwärme mit kleiner Flamme langsam das Wasser, rühre es fortwährend mit dem Glasstab um und lies, wenn das Naphthalin an der tiefsten Stelle der

Röhre eben beginnt, durchsichtig zu werden, die Temperatur ab. Entferne sofort den Brenner und lies, sobald sich am untern Ende der Röhre das Naphthalin wieder trübt, nochmals die Temperatur ab. Das Mittel aus beiden Ablesungen ist der Schmelzpunkt des Naphthalins.

c) Wiederhole den Versuch fünfmal und bilde aus den Ergebnissen den Mittelwert.

d) Ist das Glas ein guter Wärmeleiter? Ist bei steigender Temperatur das Naphthalin oder das Wasser wärmer? Was von beiden ist bei sinkender Temperatur wärmer? Welche Messung liefert einen zu kleinen und welche einen zu hohen Wert des Schmelzpunkts?

e) Wische das Thermometer und die Röhre trocken. Reinige das Becherglas und stelle es auf das Ablaufbrett.

2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Naphthalin.	Doppeltdurchbohrter Stopfen.
Probierröhrchen von 3 cm lichter Weite und 13 bis 15 cm Länge.	Fließpapier.
Thermometer.	Alkohol.
Bunsenbrenner.	Dreifuß.
Gasschlauch.	Drahtnetz mit Asbesteinlage.
Becherglas (600 cm^3).	Millimeterpapier.
Rührer aus Nickeldraht.	Abdampfschale.

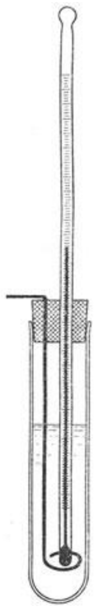

Fig. 165.

Anleitung. f) Fülle das Probierröhrchen zu drei Viertel mit Naphthalin, stelle es in das Wasser im Becherglas und erhitze, bis alles Naphthalin geschmolzen ist. Dehnt sich das Naphthalin beim Schmelzen aus?

g) Verschließe die Röhre mit dem doppelt durchbohrten Stopfen, durch dessen eine Durchbohrung der Rührer und durch dessen andere Durchbohrung das Thermometer so weit hindurchgesteckt sind, daß der Ring des Rührers und die Kugel des Thermometers 1 bis 2 cm vom Boden abstehen (Fig. 165). Laß das Probierröhrchen an der Luft erkalten, beobachte das Aussehen des Naphtalins, bewege die Flüssigkeit fleißig mit dem Rührer und lies alle halbe Minute die Temperatur ab, bis sie bis auf $\sim 75^0$ gesunken ist. Schreibe jedesmal die Zeit und die Temperatur auf.

h) Kühlt sich das Thermometer gleichmäßig rasch ab? Welche Teile des Naphthalins erstarren zuerst? In welchem Zustand befindet sich das Naphthalin, wenn sich längere Zeit hindurch die Temperatur nicht ändert? Liegt diese unveränderte Temperatur über der Zimmerwärme? Wie ist es zu erklären, daß trotzdem die Temperatur des Naphthalins während beträchtlicher Zeit annähernd gleich bleibt? Gibt das Naphthalin Wärme an die Luft ab? Woher erhält das Naphthalin die Wärme während der Zeit, wo sich seine Temperatur nicht ändert? Wie nennt man diese gleichbleibende Temperatur?

i) Mache eine graphische Darstellung des Vorgangs, wähle dabei die Zeit als Abszisse und die Temperatur als Ordinate. Welcher Teil der Kurve liefert den Schmelzpunkt des Naphthalins?

k) Wische das Thermometer mit Fließpapier, das mit Alkohol befeuchtet ist, ab. Reinige das Becherglas und stelle es auf das Ablaufbrett.

Bemerkungen. 1. Verfahren. Man zieht eine dünnwandige Glasröhre von ∼ 5 mm innerm Durchmesser und 15 cm Länge zu einem dünnen Röhrchen von 1 bis 2 mm innerer Weite aus und schneidet dieses so durch, daß das dünnere Ende ∼ 4 cm lang wird. Man schmelzt nun in einem Probierglas etwas Naphthalin, saugt es in der Glasröhre empor und schmelzt dann das dünne Ende in der Flamme zu.

Setzen sich beim Erwärmen des Wassers an die Röhre Luftbläschen, so wischt man sie von Zeit zu Zeit mit den Fingern ab.

2. Verfahren. Man kann je zwei bis drei Probierröhrchen mit festem Naphthalin in einem Wasserbad erwärmen.

Läßt man die Schüler während des Erkaltens das Naphthalin mit dem Thermometer umrühren, so ermahne man sie, eine Abdampfschale oder einen Teller unter das Probierröhrchen zu setzen und beim Versuch nicht zu sitzen; denn gar zu leicht wird beim Rühren das Glas durchstoßen, und das flüssige Naphthalin fließt über die Beinkleider.

Statt Naphthalin (80°) kann man auch Acetamid (79°) oder Diphenylamin (54°) verwenden. Gegen Paraffin lassen sich mancherlei Einwände erheben.

16. Aufgabe. *Ändert sich die Temperatur von Eis, das 0° C warm ist, wenn man ihm Wärme zuführt?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte.

Reines Eis.	Thermometer.
Probierröhrchen von 3 cm innerer Weite und 13 bis 15 cm Länge.	Heißes Wasser.
	Becherglas (600 cm³).
	Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Fülle in das Probierröhrchen kleine, ∼ 1 cm³ große Eisstücke, stelle das Thermometer hinein und lies die Temperatur ab.

b) Setze in ein Becherglas, das Wasser von ∼ 30° C enthält, das Probiergläschen und rühre darin das Eis mit dem Thermometer tüchtig um. Lies jede halbe Minute das Thermometer ab, bis etwa die Hälfte des Eises geschmolzen ist. Schreibe die Zeiten und die zugehörigen Temperaturen auf.

c) Nimm das Probiergläschen aus dem Becherglas, rühre ∼ 1 Minute lang kräftig um und lies die Temperatur des Gemisches von Eis und Wasser ab.

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei die Zeit als Abszisse und die Temperatur als Ordinate.

e) Wurde dem Inhalt des Probiergläschens Wärme zugeführt? Von woher? Ist die Temperatur im Pobiergläschen gestiegen? Was ist aus der Wärmemenge, die das Eis empfangen hat, geworden?

17. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien sind erforderlich, um 1 gr Eis von 0° C in Wasser von 0° C zu verwandeln?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Dünnwandiges Becherglas ($600\,cm^3$). Wage. Gewichtsatz. Heißes Wasser. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Thermometer, womöglich in Zehntelgrade geteilt. Spiegelstreifen. Reines Eis. Große Suberitscheibe oder dergleichen. Fließpapier.

Anleitung. **a)** Bestimme die Masse (m_k gr) des Becherglases.

b) Gieße m_w ($\sim$ 400) gr Wasser hinein, dessen Temperatur $\sim 25^0$ C über der Zimmerwärme liegt.

c) Stelle das Glas auf eine Suberitscheibe, rühre das Wasser tüchtig um, klopfe schwach gegen das Thermometer und lies, ohne es herauszunehmen, unter Abschätzung der Zehntelgrade mit dem Spiegelstreifen die Temperatur t_1^0 C ab. (Erwärme, falls die Temperatur weniger als 15^0 über der Zimmerwärme liegt, das Wasser so weit, daß seine Temperatur die des Zimmers um 15 bis 25^0 C übersteigt.)

d) Lege sofort nach der endgültigen sorgfältigen Bestimmung der Wassertemperatur Eis, wovon man jedes Stück rasch mit kaltem Fließpapier abgetrocknet hat, in das Wasser. Setze das Eis recht behutsam zu, damit kein Wasser verspritzt wird, und fasse das Eis nicht mit den Fingern an. Rühre andauernd, doch nicht heftig, mit dem Thermometer das Wasser um. Fällt die Temperatur tiefer als 10^0 unter die Zimmerwärme, so entferne vorsichtig das noch vorhandene Eis, doch nimm dabei möglichst wenig Wasser mit heraus. Liegt die Temperatur, wenn fast alles Eis geschmolzen ist, noch nicht 2^0 C unter der Zimmerwärme, so füge noch etwas Eis hinzu. Lies, sobald alles Eis geschmolzen ist, wiederum unter Abschätzung der Zehntelgrade die Temperatur t_2^0 C des Wassers ab.

e) Stelle das Becherglas wieder auf die Wage und bestimme, wieviel Gramm (m_e) Eis man hinzugefügt hat.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Becherglas Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Wage Nr. . . .
Gewichtsatz Nr. . . . Zimmerwärme . . . ^{0} C.

Masse des Glasgefäßes	$m_k = \ldots$ [gr].
Masse des Glasgefäßes nebst Wasser	$m_k + m_w = \ldots$ [gr].
Masse des Wassers	$m_w = \ldots$ [gr].

Masse des Glasgefäßes nebst Inhalt am Ende des Versuchs	$m_k + m_w + m_e = \ldots$ [gr].
Masse des hinzugefügten Eises	$m_e = \ldots$ [gr].
Wasserwert des Glasgefäßes	$\mu_k = 0{,}19 \cdot m_k = \ldots$ [gr].
Anfangstemperatur	$t_1 = \ldots{}^0$ C.
Endtemperatur	$t_2 = \ldots{}^0$ C.

g) Um wieviel Grad ist die Temperatur des Wassers und des Glasgefäßes gefallen? Welche Wärmemenge hat dabei die Wassermasse und das Glasgefäß abgegeben? Wieviel Gramm Wasser sind aus dem hinzugefügten Eis entstanden? Welche Wärmemenge wurde aufgewendet, um das Schmelzwasser von 0^0 auf $t_2{}^0$ C zu erwärmen? Welche Wärmemenge war erforderlich, um das hinzugefügte Eis von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln? Welche Wärmemenge ist verbraucht worden, um 1 gr Eis von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln? *Schmelzwärme des Eises.*

Bemerkungen. Man muß in das Wasser trockenes Eis hineinlegen. Über das Zerkleinern von Eis vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 6 S. 231. Zerkleinert man das Eis längere Zeit vor dem Verbrauch, so füllen sich die Spalten mit Wasser. Man bewahrt das zerschlagene Eis in einem Sieb oder besser in einem bedeckten Blechgefäß auf, das in einem größern Gefäß steht, das mit Eis und Wasser gefüllt ist. Hat man ein großes Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15), so wird man dieses statt des Becherglases verwenden. Reicht der Gewichtsatz nur bis 200 gr, so muß man noch ein 0,5 kg-Stück hinzufügen.

18. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien sind erforderlich, um 1 gr Wasserdampf von 100^0 C in Wasser von 100^0 C zu verwandeln?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Dünnwandiges Becherglas (~ 500 cm³).	50 cm Kautschukschlauch.
Deckel aus Pappe mit zwei Löchern.	Wassersack (vgl. S. 251).
Wage.	Kaltes Wasser (Eis).
Gewichtsatz.	Heißes Wasser.
Pipette.	Bunsengestell mit Ring und Klemme.
Suberitscheibe.	Drahtnetz mit Asbesteinlage.
Thermometer, womöglich in Zehntelgrade geteilt.	Teclu-Brenner.
Kochflasche (~ 500 cm³).	Gasschlauch.
Weites Knierohr.	2 Bechergläser.
	Schutzschirm.

Anleitung. a) Fülle eine Kochflasche A (Fig. 166) halb voll Wasser und verschließe sie mit einem Kork B, durch den eine weite knieförmig gebogene Glasröhre C geht. Verbinde diese Röhre durch einen Kautschukschlauch D, der ~ 50 cm lang ist, mit dem Wassersack E.

b) Stelle auf den Ring des Gestells, auf dem das Drahtnetz liegt, die Flasche, klemme ihren Hals fest und erhitze das Wasser durch einen kräftigen Brenner.

c) Bestimme inzwischen sorgfältig die Masse (m_k gr) des dünnwandigen Becherglases, gieße dann ~ 400 gr Wasser hinein, dessen Temperatur ~ 10^0 unter der Zimmerwärme liegt, und ermittle genau die Masse (m_w gr) des Wassers. Stelle den Schutzschirm *H* auf, setze dahinter auf eine Suberitscheibe das Becherglas, bedecke dies mit der Pappscheibe *J* und stecke durch das eine ihrer beiden Löcher das Thermometer.

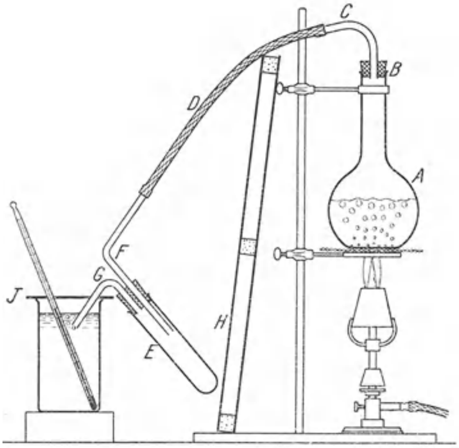

Fig. 166.

d) Bestimme, sobald der Dampf kräftig aus der Röhre *G* des Wassersacks ausströmt, sorgfältig unter Abschätzung der Zehntelgrade die Temperatur ($t_1{}^0$ C) des fleißig umgerührten Wassers; sie soll ~ 5^0 unter der Zimmerwärme liegen. Lege schnell den Kautschukschlauch über den Schutzschirm und führe die Röhre *G*, von deren Mündung man die etwa vorhandenen Wassertropfen wegwischt, rasch so durch das noch freie Loch des Deckels *J*, daß die Öffnung von *G* ~ 2 cm unter dem Wasserspiegel liegt. Rühre mit dem Thermometer andauernd langsam das Wasser im Becherglas um und nimm, sobald die Temperatur ungefähr ebenso weit über der Zimmerwärme liegt, wie t_1 darunter, die Röhre *G* schnell aus dem Wasser und bestimme unter fleißigem langsamem Umrühren und unter Abschätzen der Zehntelgrade die höchste Temperatur $t_2{}^0$ C, die das Wasser während der nächsten Minuten erreicht.

e) Bestimme die Gesamtmasse von Becherglas, Wasser und verdichtetem Dampf und berechne daraus die Masse (m_d gr) des verdichteten Dampfes.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Becherglas Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Wage Nr. . . .
Gewichtsatz Nr. . . . Zimmerwärme . . . ^{0} C.

Masse des Becherglases	$m_k = \ldots$ [gr].
Masse des Becherglases nebst Wasser	$m_k + m_w = \ldots$ [gr].
Masse des kalten Wassers	$m_w = \ldots$ [gr].
Anfangstemperatur des Wassers	$t_1 = \ldots{}^0$ C.
Endtemperatur des Wassers	$t_2 = \ldots{}^0$ C.
Masse von Becherglas, Wasser und verdichtetem Dampf	$m_k + m_w + m_d = \ldots$ [gr].
Masse des verdichteten Dampfes	$m_d = \ldots$ [gr].
Wasserwert des Becherglases	$\mu_k = 0{,}19 \cdot m_k = \ldots$ [gr].

g) Um wieviel Grad ist die Temperatur des Glasgefäßes und des kalten Wassers gestiegen? Welche Wärmemengen haben dabei beide empfangen? Wieviel Gramm Wasserdampf haben sich verdichtet? Welche Wärmemenge hat dieses Verdichtungswasser bei seiner Abkühlung von 100 auf t_2° C abgegeben? Welche Wärmemenge haben die m_d gr Wasserdampf abgegeben, als sie sich zu Wasser von 100° C verdichteten? Welche Wärmemenge gibt also 1 gr Wasserdampf ab, das sich zu Wasser von 100° C verdichtet? *Dampfwärme des Wassers.*

Bemerkungen. Der Versuch ist recht schwierig, und der Fehler des Ergebnisses beträgt ~ 3 v. H. Leitet man den Dampf unter Weglassung des Wassersacks ohne weiters durch den Kautschukschlauch in das Kalorimeter, so erhält man wenig befriedigende Ergebnisse. Das Becherglas, das als Kalorimeter dient, bedecke man mit einer Scheibe *J* aus Pappe, die mit zwei Löchern, einem für das Thermometer und einem für das Dampfrohr *G*, versehen ist. Benutzt man statt des Becherglases eine dünnwandige Kochflasche (500 bis 600 cm^3) mit weitem Hals, so wird der Aufbau etwas unbequem. Bessere Ergebnisse erzielt man mit einem geschützten Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15). Eine beachtenswerte besondere Form des Kondensators haben Schuster und Lees *(Intermed. Course 104 Nr. 22)* angegeben. Der Wassersack (vgl. Twiss *117 Nr. 32*) besteht aus einem Probierglas von 3 cm lichter Weite und 15 cm Länge. Es ist durch einen doppelt durchbohrten Stopfen verschlossen, die weite Glasröhre *F* reicht ~ 5 cm in das Glas hinein, während die weite Glasröhre *G* mit dem Stopfen abschneidet. Den Wassersack umwickelt man reichlich mit loser Watte. Die beiden Pappscheiben, woraus der Schutzschirm *H* besteht, sind auf Korke genagelt, die sie trennen und die längs dem Rande verteilt sind. Über die Beschaffung von abgekühltem und heißem Wasser vgl. Aufg. 4 u. 12 S. 229 u. 240.

Es hat keinen rechten Sinn, den Barometerstand abzulesen und die wahre Temperatur des Wasserdampfes zu ermitteln, da die Fehler, die aus andern Quellen fließen, die Abweichung überwiegen, die aus der Annahme entsteht, die Siedetemperatur sei 100° C.

Will man nicht mit abgekühltem Wasser arbeiten, so schreibt man den Zeitpunkt τ_1 auf, wo man den Dampf in das Wasser einleitet und liest von dem Augenblick an, wo man den Dampfstrom unterbricht, jede halbe Minute die Temperatur ab, und zwar noch zwei Minuten lang, nachdem die höchste Temperatur erreicht worden ist. Wird zur Zeit τ_2 die höchste Temperatur t_2° C abgelesen und ist zwei Minuten später die Temperatur des Wassers t_3° C, so hat während zwei Minuten das Kalorimeter $(t_2 - t_3)$ Grad verloren, also in den $(\tau_3 - \tau_1)$ Minuten, die zwischem dem Einleiten des Dampfes und dem Erreichen der höchsten Temperatur verflossen sind, $^1/_2\,(t_2 - t_3)\,(\tau_3 - \tau_1)$. Diese Berechnung würde richtig sein, wenn der Wärmeaustausch zwischen Kalorimeter und Umgebung während der ganzen Zeit unverändert geblieben wäre. Beim Beginn der Dampfzufuhr war er jedoch Null, und wenn er mit dem Temperaturunterschied gewachsen ist, beträgt der mittlere Temperaturabfall

$$\Delta t_2 = {}^1/_4\,(t_2 - t_3)\,(\tau_3 - \tau_1).$$

Hätte also kein Wärmeaustausch stattgefunden, so wäre die höchste Temperatur

$$t_h = t_2 + {}^1/_4\,(t_2 - t_3)\,(\tau_3 - \tau_1)$$

erreicht worden. Wenn man nicht mit abgekühltem Wasser den Versuch angestellt hat, bringt man an t_2 die Verbesserung Δt_2 an und berechnet mit t_h anstatt mit t_2 die Dampfwärme. Über einwurfsfreiere Verbesserungen, die aber jenseits der Aufgaben der Schülerübungen liegen, vgl. Kohlrausch[10] *198*.

VI. Wärme und Arbeit.

19. Aufgabe. *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Whiting *387 u. 1009 Nr. 70 = Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 228; 1904.* R. A. Millikan, *School Science 6, 310; 1906* = Millikan-Gale *59 Nr. 20.*

Geräte. Whitingsche Röhre von 1 m Länge und 6 cm Durchmesser.
2 kg Bleischrot.
Blechgefäß.
Eiswasser.
Thermometer.

Anleitung. **a)** Kühle in einem Blechgefäß voll Eiswasser ∾ 2 kg trocknes Schrot so weit ab, daß seine Temperatur 5 bis 6° C unter der Zimmerwärme liegt.

b) Schütte das Schrot in die Pappröhre (Fig. 167) und verschließe diese mit den gut passenden Korken A und B. Schüttle die Röhre und neige sie fünf- bis zehnmal so, daß die Schrotkugeln vom einen zum andern Ende hinabrollen und sich gut durcheinander mischen. Fasse dabei die Röhre stets nur in der Mitte an.

c) Ersetze den obern Kork A durch einen andern C, wodurch ein Thermometer so gesteckt ist, daß die Kugel ∾ 5 cm in die Röhre hineinragt. Neige allmählich die Röhre, bis alles Schrot hinabgerollt ist und die Thermometerkugel vollständig umgibt.

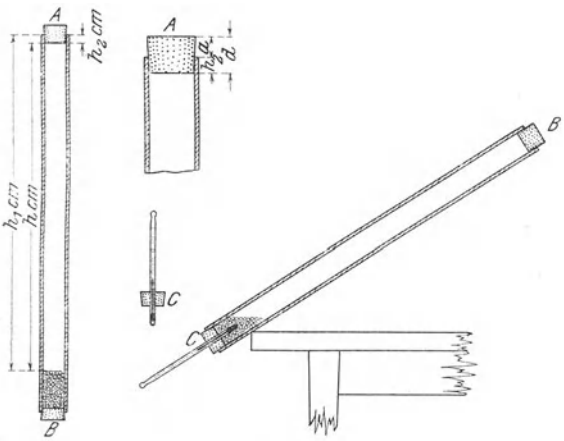

Fig. 167.

d) Lege die Röhre in dieser schrägen Stellung auf die Tischkante und drehe sie ∾ 2 Minuten lang und lies dann die Temperatur ab. Liegt diese mehr als 3° unter der Zimmerwärme, so fahre mit dem Schütteln und Hin- und Herrollen des Schrotes fort, bis die Temperatur 2 bis 3° C unter der Zimmerwärme liegt. Lies diese Temperatur (t_1° C) unter Abschätzung der Zehntelgrade ab.

e) Ersetze nun schnell den Kork C durch den Kork A, fasse mit beiden Händen die Röhre in der Mitte, stelle sie lotrecht mit dem Ende B auf den Tisch, drehe sie rasch, aber ohne zu plötzliches Anhalten, um die wagerechte Achse um 180°, so daß nun A auf dem Tisch ruht, und halte sie in dieser lotrechten Stellung, bis alles Schrot auf den Kork A gefallen ist. Kehre so die Röhre hundertmal rasch hintereinander um.

f) Ersetze nach der hundertsten Umdrehung den Kork A durch C und miß wiederum wie bei (d) unter Abschätzung der Zehntelgrade die Temperatur (t_2° C) des Schrotes.

g) Nimm den Kork C ab, miß den Abstand (h_1 cm) der oberen Schrotfläche vom obern Rande der Röhre und den Abstand (h_2 cm) der untern Fläche des Korkes A von jenem Rande und berechne daraus die mittlere Höhe, die das Schrot bei jeder Umkehrung durchfallen hat, $h = h_1 - h_2$.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Röhre Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Zimmerwärme . . .° C.

Anfangstemperatur des Schrotes	$t_1 = \ldots$° C.
Endtemperatur des Schrotes	$t_2 = \ldots$° C.
Abstand der Schrotoberfläche vom obern Rande der Röhre	$h_1 = \ldots$ [cm].
Dicke des Korkes A	$d = \ldots$ [cm].
Abstand der obern Fläche des Korkes A vom Rande der Röhre	$a = \ldots$ [cm].
Abstand der untern Fläche des Korkes A vom Rande der Röhre	$h_2 = d - a = \ldots$ [cm].
Fallhöhe des Schrotes	$h = h_1 - h_2 = \ldots$ [cm].
Anzahl der Umkehrungen	$z = \ldots$

i) Warum gleiten die Schrotkörner während der Drehung der Röhre nicht an deren Wand abwärts? Warum kommen sie, sobald sie den untern Kork erreichen, zur Ruhe? Welche positive Arbeit leistet das Schrot, dessen Masse m gr ist, wenn es die Höhe h cm herabfällt? Welche Wucht müßte das Schrot nach z Umkehrungen besitzen? Worin verwandelt sich die Wucht des Schrotes?

k) Um wieviel Grad haben sich die m gr Schrot erwärmt? Welche Wärmemenge ist dazu erforderlich, wenn das Schrot die spezifische Wärme $c = 0{,}0315$ hat? Die Pappe und die Korke sind schlechte Wärmeleiter, man darf mithin annehmen, daß sie nur sehr wenig Wärme aufnehmen.

l) Es hat sich also bei dem Versuch die Wucht $zmgh$ Erg in $cm\,(t_2 - t_1)$ grkal verwandelt, die $\mathfrak{J}cm\,(t_2 - t_1)$ Erg entsprechen, wo $\mathfrak{J}$ den in Erg/grkal gemessenen Arbeitswert der Wasser-Grammkalorie bezeichnet. Es ist also

$$\mathfrak{J}cm\,(t_2 - t_1) = zmgh,$$

mithin

$$\mathfrak{J} = \frac{zgh}{c\,(t_2 - t_1)}.$$

m) Berechne aus den Messungen den Arbeitswert (das mechanische Äquivalent) der Grammkalorie.

Bemerkungen. Die Whitingsche Röhre stellt man her, indem man schlecht leitendes dickes braunes Packpapier auf einer Seite mit Leim bestreicht und um einen runden Holzzylinder von 1 m Länge und etwa 5 bis 7 cm Durchmesser so oft wickelt, daß eine Röhre von $\sim$ 0,4 cm Wandstärke entsteht.

Nach dem Verfahren von WHITING erhält man Ergebnisse mit einem Fehler bis zu 5 v. H. Mißt man wie in der Anleitung nach den Vorschlägen von MILLIKAN die Temperatur des Schrotes, so wird der Fehler nur etwa halb so groß. Wendet man, wie es ROBSON *154 Nr. 94* tut, den RUMFORDschen Kunstgriff der Abkühlung nicht an, so erhält man erheblich schlechtere Ergebnisse. VIOLLE (ABRAHAM *1, 212 Nr. 60*) läßt $\sim$ 1 kg Quecksilber in einer Glasröhre von 1 m Länge, 3 cm lichter Weite und 0,2 cm Wandstärke fallen. In den Uraniakursen erhielten wir nach diesem Verfahren noch schlechtere Ergebnisse wie nach dem ROBSONschen, außerdem sprangen einige Zeit nach den Versuchen die Enden der Röhre in Ringen ab. Eine Abänderung der Vorrichtung von VIOLLE beschreibt L. KANN in der *Physik. Zeitschr. 9, 263; 1908;* da die Arbeit erst während der Drucklegung dieses Buches erschien, konnte ich noch keine Versuche mit dem Apparat anstellen und vermag daher nicht zu sagen, ob er sich bewährt.

Der Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF) schlägt für das mechanische Wärmeäquivalent die treffende Verdeutschung Arbeitswert vor. Die wahrscheinlichste Größe des Arbeitswerts der 15°-Gammkalorie ist $4{,}188 \cdot 10^7$ Erg und die Konstante des JOULEschen Gesetzes 0,2387. *Ber. d. Deutsch. Phys. Gesellsch. 6,584; 1908.*

Achter Teil.

Licht.

I. Spiegelung an einer Ebene.

1. Aufgabe. *Vergleiche den Einfallswinkel mit dem Ausfallswinkel.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. GLAZEBROOK *12 Nr. 5.* WILBERFORCE-FITZPATRICK *2, 28 Nr. 1.* H. HAHN, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 75 Nr. 1; 1904.*

Geräte. Ebener Spiegel. Stecknadeln. | Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).

Anleitung. **a)** Hefte mit Reißnägeln den Bogen auf das Zeichenbrett. Ziehe die Gerade g (Fig. 168). Stelle den Spiegel so auf das Papier, daß die untere Kante der versilberten Vorderfläche genau mit g zusammenfällt. Stecke die Nadel B nahe beim Spiegel und die Nadel A $\sim$ 12 cm weit davon entfernt lotrecht in das Reißbrett. Schließe das eine Auge und bringe den Kopf in eine solche Stellung, daß A die Nadel B verdeckt, und stecke, ohne den Kopf zu bewegen, zwei weitere Nadeln, C in der Nähe des Spiegels und D $\sim$ 12 cm weit davon entfernt, so in das Papier, daß ihre Spiegelbilder auf der Verlängerung von AB liegen. Sieh in der Richtung DC in den Spiegel und prüfe, ob die Bilder von A und B in der Verlängerung von DC liegen. *Gesetz der Umkehrbarkeit.* Umringle die Stiche der Nadeln und entferne dann Spiegel und Nadeln. Ziehe AB und CD. Wo schneiden sich die Verlängerungen beider Strecken? *Einfallsstrahl AE, Einfallspunkt E, Ausfallsstrahl ED.*

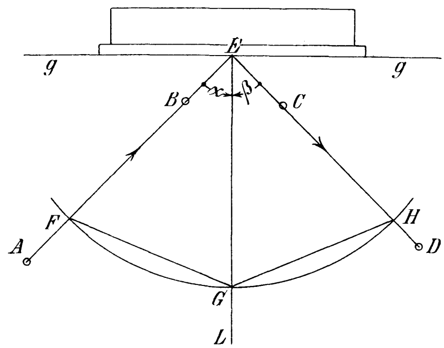

Fig. 168.

b) Errichte mit den Dreiecken in E das Lot EL auf g. *Einfallslot. Einfallswinkel* $AEL = \alpha$, *Ausfallswinkel* $DEL = \beta$. Miß die Winkel α und β, trage die gefundenen Werte in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und berechne $\alpha - \beta$ unter Beachtung des Vorzeichens.

Spiegel Nr . . .

α	β	$\alpha - \beta$	FG cm	HG cm	$FG - HG$ cm
	Mittel	. . . . . .		Mittel	. . . .

c) Wiederhole den Versuch fünfmal und wähle jedesmal einen andern Einfallswinkel. Bilde das Mittel der Unterschiede $\alpha - \beta$. Welche Beziehung besteht zwischen α und β?

d) Schlage um E mit einem Halbmesser von 8 bis 12 cm Länge einen Bogen, der AE, EL und ED in den Punkten F, G und H schneidet. Miß mit dem Millimetermaßstab die Strecken FG und HG, trage die Werte in die Zeichnung und in die Tafel ein, berechne $FG - HG$ unter Beachtung des Vorzeichens und bilde aus diesen Unterschieden das Mittel. Welche Beziehung besteht zwischen FG und HG und demnach zwischen α und β?

Bemerkungen. Der ebene Spiegel, ein Planglasstreifen (14 cm $\times$ 2,5 cm $\times$ 0,25 cm), ist auf der Vorderseite versilbert, poliert, mit Zaponlack überzogen oder auf der Rückseite mit mattschwarzem Firniß überstrichen und auf einen rechteckigen Ankerbaustein mit der Rückseite so gekittet, daß der Spiegel genau senkrecht steht (Fig. 169). Holzstäbe mit Befestigungsspitzen haben sich nicht bewährt.

Es hat sich herausgestellt, daß weniger die Ungenauigkeit des Verfahrens als die Fehler der benutzten Winkelmesser aus Karton und der Dreiecke Abweichungen in den Werten von α und β hervorrufen. Man kann die unmittelbare Winkelmessung bei (b) umgehen und nach der Errichtung des Einfallslotes wie bei (d) verfahren.

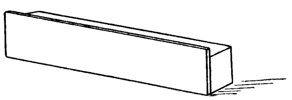

Fig. 169.

Die Nadeln B und C kann man entbehren, wenn man dicht vor dem Spiegel bei E eine Insektennadel in die Gerade g einsteckt.

Man kann aber auch noch die Nadeln A und D weglassen und den einfallenden und den ausfallenden Strahl auf folgende Weise zeichnen: Man legt den Maßstab so auf das Papier, daß die eine Kante genau nach der Nadel E weist, zieht längs dieser Kante mit dem Blei einen Strich (AE), gibt dann dem Maßstab eine solche Stellung (CD), daß beim Visieren längs seiner beleuchteten Kante nach der Nadel E diese das Spiegelbild des Striches AE verdeckt, und zeichnet mit dem Blei längs der Kante den Strich CD. Selbst die Nadel E ist entbehrlich.

Man achte darauf, daß die Schüler stets mit spitzen Bleistiften arbeiten.

2. Aufgabe. *Wie weit stehen Gegenstand und Bild vom Spiegel ab? Wie groß ist der Winkel, den die Verbindungsgerade von ent-*

sprechenden Punkten des Gegenstandes und des Bildes mit dem Spiegel bildet?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

1. Verfahren.

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu große Stecknadeln.

Anleitung. **a)** *Wesen des „Abweichnngsverfahrens“ mit einem Retortenständer, dem Fenster und einem Gegenstand davor oder mit zwei Lichtern erläutert, und Herleitung des Satzes: Der entferntere von zwei Gegenständen scheint sich in bezug auf den nähern Gegenstand in derselben Richtung wie der Beobachter zu bewegen.*

b) Befestige einen Bogen auf dem Reißbrett, ziehe darauf die Gerade g und setze den Spiegel so auf, daß die untere Kante der spiegelnden Vorderfläche genau mit g zusammenfällt (Fig. 170). Stecke die Nadel A vor dem Spiegel in 5 bis 10 cm Abstand ein.

c) Sieh mit einem Auge nahezu senkrecht auf den Spiegel, halte dabei das Auge so hoch, daß du nur den untern Teil des Spiegelbildes von A erblickst, und stecke hinter dem Spiegel eine Nadel B so in das Papier, daß ihr oberer Teil die Verlängerung des Bildes von A bildet. Bewege das Auge so weit nach rechts oder links, als es der Spiegel gestattet. Scheint bei allen Stellungen des Auges die Nadel B die Fortsetzung des Bildes von A zu sein, so fällt sie genau damit zusammen. Bewegt sie sich aber mit dem Auge, so liegt sie zu weit vom Spiegel ab, und man muß sie ein wenig näher stecken; bewegt sie sich jedoch dem Auge entgegen, so muß man sie etwas weiter vom Spiegel entfernen. Nach wenigen Versuchen findet man die Lage der Nadel B, wo sie sich für jede Stellung des Auges mit dem Bilde von A deckt. Umringle die Stiche von A und B und nimm den Spiegel weg. Ist B ein *wirkliches Bild* oder ein *Scheinbild* der Nadel?

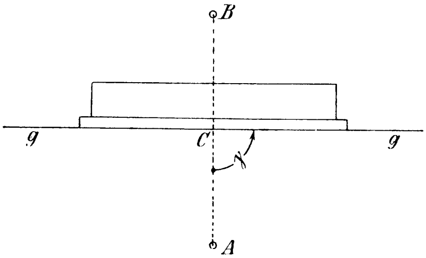

Fig. 170.

d) Verbinde A mit B und miß die Entfernungen AC und BC, trage sie in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und berechne unter Berücksichtigung des Vorzeichens $AC - BC$.

Spiegel Nr. . . .

AC cm	BC cm	$AC - BC$ cm	γ
	Mittel	. . . . . .	. . . . .

e) Wiederhole den Versuch fünfmal und ändere jedesmal die Lage von A. Bilde aus den Unterschieden $AC - BC$ das Mittel. Welche Beziehung besteht zwischen AC und BC?

f) Miß mit dem Winkelmesser in den soeben hergestellten Zeichnungen den Winkel (γ) zwischen der Linie AB und der spiegelnden Ebene g und trage die Werte in die Zeichnungen und in die voranstehende Tafel ein. Bilde aus den Werten γ das Mittel und prüfe durch Anlegen des Dreiecks das Ergebnis.

2. Verfahren.

Literatur. SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 115 Nr. 22.*

Geräte. Wie beim 1. Verfahren.

Anleitung. g) Verfahre wie bei (b).

h) Schließe das eine Auge und stecke nahe beim Spiegel die Nadel D_1 (Fig. 171) und ∾ 12 cm weit davon entfernt die Nadel E_1 so in das Reißbrett, daß für das offene Auge, das ∾ 20 cm hinter E_1 steht, die Spitzen von D_1, E_1 und vom Bilde der Nadel A_1 zu-

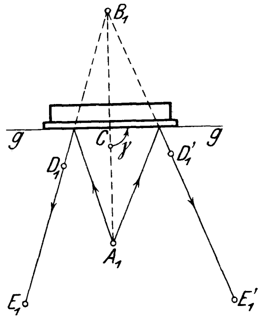

Fig. 171.

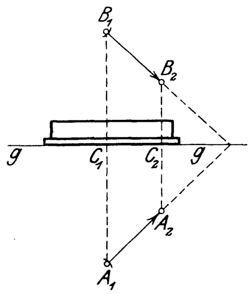

Fig. 172.

sammenfallen. Umringle die Nadelstiche und schreibe die Buchstaben daran.

i) Gib dem Auge eine andre Stellung und wiederhole den Versuch noch zweimal.

k) Nimm den Spiegel weg und ziehe die Geraden D_1E_1, $D_1'E_1'$ und $D_1''E_1''$. Wo schneiden sie sich? Lag im Schnittpunkt ein *wirkliches Bild* oder ein *Scheinbild*?

l) Verbinde den Schnittpunkt B_1 mit A_1 und verfahre wie bei (d) und (f).

m) Setze den Spiegel wieder genau an seine frühere Stelle und stecke bei A_1 und B_1 Nadeln ein und prüfe, ob sich B_1 mit dem Scheinbild von A_1 deckt.

n) Ziehe durch A_1 (Fig. 172) einen Pfeil A_1A_2 von ∾ 5 cm Länge, der mit g einen Winkel von ∾ 60^0 bildet und wiederhole für die Nadel, die bei A_2 in das Reißbrett gesteckt wird, die Versuche (h) bis (m).

o) Miß die Längen A_1A_2 und B_1B_2 und trage sie in die Zeichnung ein. Wie verhält sich die Größe des Gegenstandes A_1A_2 zur Größe des Scheinbildes B_1B_2? Wo liegt der Schnittpunkt der Verlängerungen der Strecken A_1A_2 und B_1B_2? Betrachte vom Schnittpunkt aus die beiden Pfeile. Sind die Pfeilrichtungen gleich? Miß die Winkel, die die Pfeile mit der Geraden g bilden.

Bemerkungen. Die Richtung der Sehlinien nach dem Scheinbild von A kann man anstatt durch die beiden Nadeln D und E durch die Kante des Maßstabes festlegen, woran man so entlang sieht, daß das Bild B genau in der Verlängerung der Kante liegt. Das eine Ende des Maßstabes soll dabei nahe beim Spiegel liegen. Man halte beim Ausrichten das Auge ~ 20 bis 25 cm vom hintern Ende des Maßstabes entfernt. Ist der Maßstab ausgerichtet, so zieht man mit einem spitzen harten Bleistift die Sehlinie entlang einen Strich.

II. Brechung in einer Ebene.

3. Aufgabe. *Wie ändert ein Lichtstrahl beim Übergang aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes seine Richtung?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. GLAZEBROOK *58 Nr. 10.* WILBERFORCE-FITZPATRICK *2, 28 Nr.* 2.

Geräte.

Planparallele Glasplatte.	Stecknadeln.
Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).	Millimeterpapier.
Sehr dünne Insektennadeln.	Putzleder.

Anleitung. **a)** Hefte auf das Reißbrett den Bogen, zeichne auf dem Papier die Gerade g und stelle die Glasplatte so auf, daß die untere Kante der dem Auge zugewandten polierten Fläche genau mit g zusammenfällt (Fig. 173). *Diese Seite ist die brechende Ebene.* Stecke eine dünne Insektennadel B lotrecht so in das Papier, daß sie die Hinterseite des Glases berührt, und eine andre dünne Insektennadel E so, daß sie die brechende Ebene berührt, und die Strecke BE schief zu g steht. Sieh aus ~ 30 cm Entfernung mit einem Auge durch das Glas in solcher Richtung, daß E das Bild von B bedeckt und stecke eine gewöhnliche Nadel A 10 bis 12 cm von E entfernt so ein, daß sie mit B und E scheinbar in einer Ebene liegt. Blicke in der Richtung BE durch die Glasplatte und prüfe, ob die Nadeln A, E und B scheinbar in einer Geraden liegen. *Gesetz der Umkehrbarkeit.* Umringle die Stiche, entferne Glas und Nadeln und ziehe mit einem spitzen Blei AE und BE. Errichte in E das Lot GF auf g. *Einfallsstrahl AE, Einfallspunkt E, gebrochener*

Strahl EB, Einfallslot GF, Einfallswinkel $AEF = \alpha$, Brechungswinkel $BEG = \beta$.

b) Schlage um E mit einem Halbmesser von $\sim$ 8 cm einen Kreis, der AE und EB in C und D schneidet. Fälle von C und D die Lote CF und DG auf GF. Miß die Strecken CF, DG und ED, trage die

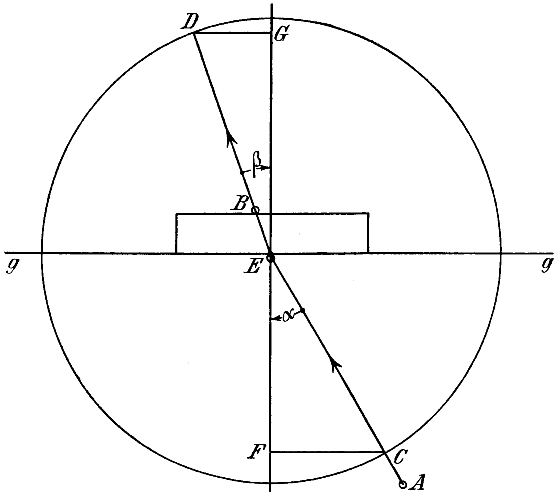

Fig. 173.

Ergebnisse in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und berechne die Neigungen der Strahlen gegen das Einfallslot, $\sin\alpha = CF/EC$, $\sin\beta = DG/ED$, und deren Verhältnis CF/DG.

Glasplatte Nr. . . .

CF cm	DG cm	ED cm	$\sin\alpha = CF/EC$	$\sin\beta = DG/ED$	CF/DG
				Mittel	. . . . . .

c) Wiederhole den Versuch fünfmal und ändere jedesmal den Einfallswinkel, wähle dabei jedoch die Punkte B und E so, daß der Winkel α niemals größer als 45^0 wird.

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = \sin\alpha$ und $y = \sin\beta$. Welche Kurve entsteht? Welche geometrische Bedeutung hat CF/DG? Welchen größten Wert kann $\sin\alpha$ annehmen? Entnimm der graphischen Darstellung den größten Wert, den $\sin\beta$ erreichen kann und schlage den zugehörigen Winkel β auf. *Grenzwinkel.*

e) Stimmen die Werte von CF/DG überein? Berechne den Mittelwert. *Brechungsquotient* (ν) *des benutzten Glases.*

f) Leite aus der Figur eine Beziehung zwischen $\nu = CF/DG$, α und β ab.

2. Verfahren.

Literatur. CLAY *5 Nr. 2.*

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch als planparallele Glasplatte eine Glasscheibe mit polierten Seiten, wie sie die Photographen zum Beschneiden der Bilder benutzen.

Anleitung. g) Hefte auf das Reißbrett den Zeichenbogen und zeichne auf das Papier das Achsenkreuz g, h (Fig. 174), lege die Glasplatte so auf die breite Seite, daß die untern Kanten AB und AC genau mit den Achsen g und h zusammenfallen. Markiere mit einem Nadelstich sorgfältig die Lage der Ecke C. Stecke bei D eine Nadel lotrecht in die Gerade g und sieh mit einem Auge durch die vordere Glasfläche so nach der Kante, daß die Nadel D diese bedeckt. Stecke, ohne die Sehrichtung zu ändern, dicht neben der Fläche AC eine längere Nadel E lotrecht so in das Reißbrett, daß sie scheinbar die Verlängerung der Kante C bildet.

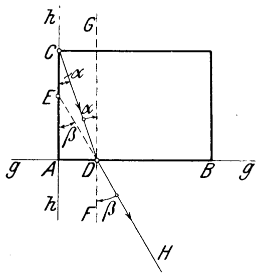

Fig. 174.

h) Umringle die Stiche C, D und E, nimm die Glasplatte und die Nadeln weg, ziehe DC und DE und errichte in D das Lot FG auf g. *Einfallsstrahl* CD, *Einfallspunkt* D, *gebrochener Strahl* DH, *Einfallslot* FG, *Einfallswinkel* $CDG = \alpha$, *Brechungswinkel* $HDF = \beta$.

i) Miß die Längen AD, CD und ED, trage die Ergebnisse in die Zeichnung und in folgende Tafel ein und berechne AD/CD, AD/ED und ED/CD.

Glasplatte Nr. . . .

CD cm	ED cm	AD cm	$\sin\alpha = AD/CD$	$\sin\beta = AD/ED$	ED/CD
				Mittel	. . . . . .

k) Gib der Nadel D verschiedene Stellungen und wiederhole den Versuch fünfmal.

l) Verfahre wie bei (d) bis (f), doch ist hier der größte Wert zu bestimmen, den α annimmt, wenn $\beta = 1$ wird, ferner zu untersuchen, ob sich die Werte des Quotienten ED/CD nicht ändern und wie dieser mit α und β verbunden ist. Welche Beziehung besteht zwischen dem hier und dem in (e) bestimmten Brechungsquotienten?

3. Verfahren.

Literatur. Millikan-Gale *114 Nr. 43.*

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch anstatt der Glasplatte ein Prisma.

Anleitung. m) Hefte auf das Reißbrett den Zeichenbogen und ziehe die Gerade g. Stelle das Prisma ABC (Fig. 175) mit der Fläche BC genau über g und markiere durch einen Nadelstich sorgfältig den Ort von A. Lege den Maßstab auf das Papier, sieh mit einem Auge von D aus längs seiner Kante m durch die Prismenfläche BC hindurch nach der Kante A. Drehe den Maßstab so, daß A scheinbar auf der Verlängerung der Maßstabkante liegt und ziehe mit einem spitzen harten Blei längs m einen Strich. Bewege das Auge nach der Stelle D', die ungefähr ebensoweit rechts von der Halbierungsebene des brechenden Winkels liegt, wie D links davon, bringe den Maßstab in eine solche Lage, daß A scheinbar auf der Verlängerung der Maßstabkante m' liegt und ziehe längs m' einen Bleistrich.

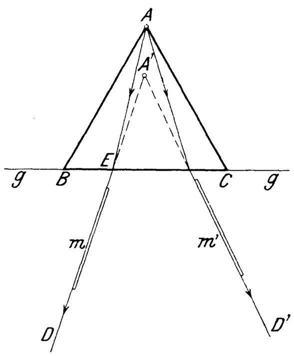

Fig. 175.

n) Entferne das Prisma und verlängere mit einem Zeichendreieck die Strecken m und m' bis zu ihrem Schnittpunkt A'.

o) Durch einfache Betrachtungen läßt sich zeigen, daß sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Luft zu der im Glas wie $AE : A'E$ verhält.

p) Miß sorgfältig die Strecken AE und $A'E$ und berechne das Verhältnis $AE/A'E$, den Brechungsquotienten (ν) des Glases.

q) Wiederhole den Versuch mehrmals unter Benutzung verschiedener Stellungen des Auges.

r) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Prisma Nr. . . .

AE cm	$A'E$ cm	$\nu = AE/A'E$
	Mittel	. . . .

Bemerkungen. In der *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 77 Nr. 2; 1904* habe ich aus Versehen das erste Verfahren Gilley zugeschrieben. Dessen *Principles of Physics* sind aber erst 1901 erschienen, während Glazebrook in der 1895 erschienenen zweiten Auflage (die erste steht mir nicht zur Verfügung) seines Buches über Licht den Versuch bereits veröffentlicht hat. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium wurde der Versuch zuerst am 16. Juni 1900 nach den Angaben von Glazebrook ausgeführt.

Da es schwierig ist, die Insektennadeln im Punkte B gut einzustecken, so empfiehlt es sich, auf der Fläche bei B mit schwarzer oder roter Tinte einen lotrechten Strich zu ziehen oder einen Streifen Papier mit etwas Klebwachs so zu befestigen, daß der gerade Rand auf dem Zeichenbogen senkrecht steht. Man darf dann nicht vergessen, den Fußpunkt B dieses lotrechten Striches oder Randes auf dem Zeichenbogen durch einen Nadelstich zu markieren.

Man verwendet planparallele Gläser von $10 \text{ cm} \times 7{,}5 \text{ cm} \times 2{,}5 \text{ cm}$ oder von $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 0{,}6 \text{ cm}$ oder $4 \text{ cm} \times 3{,}5 \text{ cm} \times 2{,}7 \text{ cm}$ Größe, deren schmale Seiten gut geschliffen und poliert sind.

Verwendet man solche niedrigen und breiten Platten, über die der Kopf der Nadel B hinausragt, so verdeckt man den obern Teil von B durch einen Holzklotz oder dergleichen.

Beim dritten Verfahren muß man große Prismen verwenden.

4. Aufgabe. *Wie groß ist der Grenzwinkel für Glas?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Millikan-Gale *116 Nr. 44.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1, S. 259, doch anstatt der Glasplatte ein großes Prisma mit drei polierten Flächen.

Anleitung. **a)** Setze vor ein Fenster f (Fig. 176), durch das man den Himmel sehen kann, oder vor eine Mattglasscheibe, hinter der eine weiße Lichtquelle aufgestellt ist, das Prisma ABC, auf dessen Fläche AB in der Mitte E mit Tinte ein lotrechter feiner Strich gezogen ist, umfahre mit einem spitzen Bleistift den Umriß des Prismas und markiere mit einem Nadelstich den Fußpunkt des Striches E.

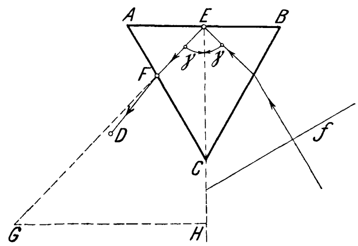

Fig. 176.

b) Bringe an die Stelle D das Auge und betrachte das Bild des Himmels oder der Mattscheibe, das von der Prismafläche AB zurückgeworfen wird. Eine bläulich-grüne Linie teilt AB in zwei Gebiete von deutlich verschiedener Helligkeit. Der rechte Teil ist heller als der linke. Sieht man die Trennungslinie nicht, so erscheint sie, wenn man das Auge nach rechts oder links bewegt. Ändere die Stellung des Auges, bis der grüne Rand der Grenzlinie genau mit dem Strich E zusammenfällt.

c) Die Lichtstrahlen, die die verschiedenen Teile von AB in das Auge zurückwerfen, haben einen um so größern Einfallswinkel, je weiter rechts von A sie liegen. Ist dieser Winkel gleich oder größer als der Grenzwinkel, wie auf dem Gebiet EB, so wird alles Licht zurückgeworfen. Ist der Winkel kleiner als der Grenzwinkel, wie auf dem Gebiet AE, so wird das Licht teils zurückgeworfen, teils durchgelassen. Die blaugrüne Linie, die das Feld in zwei Gebiete von ungleicher Helligkeit zerlegt, ist der Ort, wo die totale

Spiegelung beginnt, also der Einfallswinkel gleich dem Grenzwinkel für Glas ist.

d) Lege den Maßstab so auf das Papier, daß eine Kante mit der Stelle E und dem grünen Rand scheinbar in einer Geraden liegt und markiere durch einen Bleistiftstrich die Sehrichtung. Entferne das Prisma und verlängere den Bleistrich, bis er im Punkt F die Prismenkante AC schneidet. Verbinde F mit E und errichte in E das Lot auf AB und miß mit dem Winkelmesser den Grenzwinkel γ.

e) Verlängere den Strahl EF und das Lot in E und mache dieses 15 bis 30 cm lang. Ziehe GH parallel zu AB und berechne das Verhältnis HG/EG. Wem ist der erhaltene Wert gleich?

f) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mehrmals.

Bemerkung. Ein andres Verfahren findet man bei Gilley *288 Nr. 42.*

5. Aufgabe. *Ändert ein Lichtstrahl, der durch eine planparallele Glasplatte geht, seine Lage und Richtung?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Glazebrook *70 Nr. 44.* Wilberforce-Fitzpatrick *2, 30 Nr. 4.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3 mit Ausnahme des Zirkels.

Anleitung. a) Hefte auf das Reißbrett den Bogen, stelle die Glasplatte mit einer mattgeschliffenen Seite auf das Papier und ziehe mit einem spitzen Blei je einen Strich längs der vordern und der hintern Grundkante (Fig. 177). Stecke zwei Nadeln A und B in möglichst großem Abstand voneinander hinter der Platte lotrecht so ein, daß die Gerade, die ihre Spitzen verbindet, die hintere Fläche schräg (unter 45°) trifft. Sieh durch das Glas und stecke zwei weitre Nadeln C und D, die eine nahe an der Vorderfläche, die andre weit davon entfernt, so ein, daß sie scheinbar mit A und B in einer Ebene liegen. Umringle die Nadelstiche und entferne Platte und Nadeln.

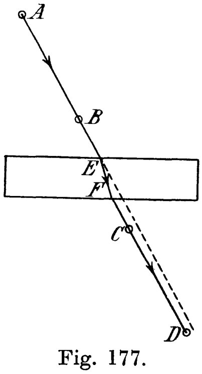

Fig. 177.

b) Ziehe durch A und B und durch C und D je eine Gerade. Hat sich die Richtung des Strahles beim Durchgang durch die planparallele Platte geändert? Miß die lotrechten Entfernungen zwischen den Geraden AB und CD an zwei entfernten Stellen oder prüfe mit zwei Dreiecken, ob der eintretende und der austretende Strahl parallel sind. Zeichne den Weg EF, den der Strahl in dem Glas durchlaufen hat.

c) Mache mindestens fünf Versuche und benutze dabei stets andre Einfallswinkel. Miß jedesmal den lotrechten Abstand zwischen dem eintretenden und dem austretenden Strahl.

d) Wächst die Verschiebung des austretenden Strahls mit dem Einfallswinkel? Trage die Einfallswinkel als Abszissen und die zugehörigen Verschiebungen als Ordinaten auf Millimeterpapier ab und verbinde die so festgelegten Punkte.

Bemerkungen. Sind die breiten Seiten der planparallelen Platten nicht matt geschliffen, so kann man auch die Abhängigkeit der Verschiebung von der Dicke der Glasplatte untersuchen.

Man kann nach MILLIKAN-GALE *(126 Nr. 50)* die Versuche auch ohne planparallele Platte ausführen und diese aus zwei Prismen zusammensetzen (Fig. 178), ferner die Richtungen des eintretenden und des aus-

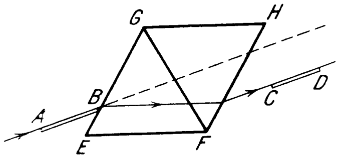

Fig. 178.

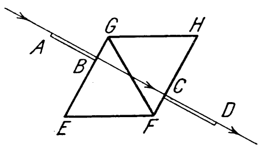

Fig. 179.

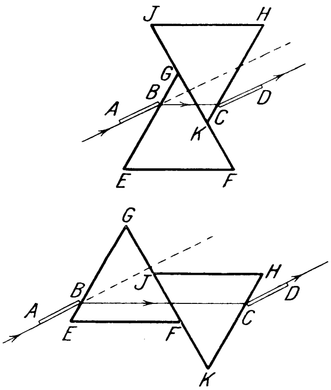

Fig. 180.

tretenden Strahles anstatt durch Nadeln durch Visieren längs einer Maßstabkante festlegen. Verschiebt man das eine Prisma längs der Berührungsebene, so kann man die Dicke der planparallelen Platte ändern (Fig. 180).

Wenn man die Maßstabkante senkrecht auf die Fläche EG (Fig. 179) stellt, an ihr entlang den Strich AB zieht und in der Richtung DC blickt, so sieht man jenen Strich nicht. Bringt man nun in die Fuge zwischen den aneinanderliegenden Flächen einen Tropfen Wasser, so sieht man AB.

6. Aufgabe. *Wo liegt das Bild eines Gegenstandes, den man durch eine Glasplatte betrachtet?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1.

1. Verfahren.

Literatur. GLAZEBROOK *78 Nr. 15.*

Anleitung. a) Lege die Glasplatte flach auf ein bedrucktes Blatt. Sieh von einem Punkt über der Platte auf das Gedruckte. Hat der Teil der Schrift, der unter dem Glas liegt, seine Lage scheinbar geändert? Ist das noch der Fall, wenn man die Platte vom Papier emporhebt und zwischen das Papier und das Auge hält? Erkläre diese Erscheinung durch eine Skizze des Strahlenbündels, das, von einem

Punkt des Papiers ausgesandt, durch die Platte geht und in das Auge eintritt.

b) Bringe auf der einen lotrechten Fläche der Glasplatte eine Marke (Dreieck aus gummiertem Papier oder Siegellacktropfen) an. Diese Marke E (Fig. 181) soll ungefähr in Stecknadelhöhe über der Kante D liegen. $ABCD$ ist ein lotrechter Schnitt durch die Glasplatte.

c) Stecke eine Nadel FG so in das Reißbrett, daß der Kopf G ebenso hoch über dem Brett liegt wie die Marke E und beleuchte sie, wenn nötig, mit einem seitlich aufgestellten Licht. Bringe das Auge H hinter die Nadel FG, halt es ein wenig über den Kopf G der Nadel und blicke senkrecht durch das Glas nach der Marke E. Man sieht außer dem Bild der Marke auch noch das Bild des Nadelkopfes G, der sich an der Vorderfläche der Platte spiegelt.

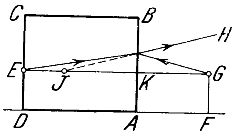

Fig. 181.

d) Schiebe die Glasplatte nach vorn oder hinten, bis das Bild der Marke und das Spiegelbild der Nadel in J zusammenfallen. Bewege den Kopf ein wenig nach rechts und links und prüfe nach dem Ablenkungsverfahren, ob sich beide Bilder decken.

e) Da in J das Spiegelbild von G und zugleich das Bild von E liegt, so bestehen die beiden Beziehungen

$$KJ = KG \text{ und } KE = \nu \cdot KJ,$$

mithin ist

$$\nu = \frac{KE}{KJ} = \frac{KE}{KG} = \frac{AD}{AF}.$$

f) Miß die Entfernungen AD und AF und berechne den Brechungsquotienten ν. Kennt man ν, so bestätigt der Versuch die Beziehung $KE = \nu\, KJ$. Ist die Richtigkeit der Formel bereits bewiesen, so gestattet der Versuch, den Brechungsquotienten zu bestimmen.

2. Verfahren.

Literatur. Clay *13 Nr. 4.*

Anleitung. g) Stecke wie in Aufgabe 5 den Weg des Lichtstrahls $ABCD$ ab (Fig. 182).

h) Verschiebe die Nadel B nach einer benachbarten Stelle B' und stecke dann auf die gleiche Weise die Richtung des Lichtstrahls $C'D'$ ab, der aus der planparallelen Platte austritt.

i) Verlängere $C'D'$ rückwärts bis zum Schnittpunkt A' mit CD. A' ist das Scheinbild von A.

k) Lege die Platte an den alten Ort, stecke in die Löcher A und A' wieder die Nadeln ein und prüfe mit dem Abweichungsverfahren, ob sich die Nadel A', die über die Prismenfläche hinausragen muß, mit dem Scheinbild von A deckt.

l) Ziehe AA' und miß den Winkel, den diese Gerade mit den parallelen Glasflächen bildet, die beim Versuch benutzt wurden.

m) Mache auf einer Fläche der Glasplatte mit Tinte einen Strich A parallel zu einer Kante (Fig. 183). Ziehe auf dem Zeichenbogen die Gerade g und lege die Platte so an den Strich, daß die Marke A lotrecht auf dem Papier und die zur Marke parallele Glasfläche genau über g steht.

n) Sieh durch die Glasplatte nach der Marke und stecke zwei Nadeln B_1 und C_1, die eine dicht an der Vorderfläche und die andre $\sim$ 10 cm davon entfernt, lotrecht so in das Reißbrett, daß sie scheinbar mit der Marke in einer Geraden liegen. Markiere die Nadelstiche.

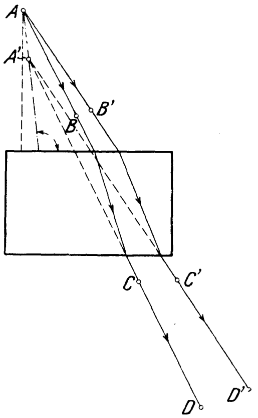

Fig. 182.

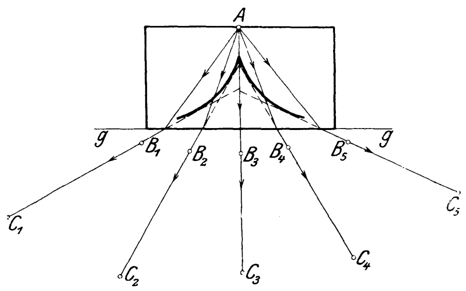

Fig. 183.

o) Ändere die Stellung des Auges, stecke nacheinander eine ganze Reihe von Nadelpaaren B_ν, C_ν ein und markiere ihre Stiche.

p) Entferne die Platte und die Nadeln und ziehe durch jedes zusammengehörige Paar Nadelstiche eine Gerade. Was hüllen diese Geraden ein? *Diakaustik.* Liefert die Marke, wenn man sie durch die Glasplatte betrachtet, nur ein geometrisches Bild, oder erhält man für jede Stellung des Auges andere geometrische Bilder? Welche Gestalt hat die Diakaustik? Bei welcher Augenstellung liegt das Bild der Marke in der Spitze der Kurve? Gibt es auch bei dieser Stellung mehrere getrennte geometrische Bilder der Marke?

Bemerkungen. Zum 1. Verfahren. Benutzt man eine flache Glasplatte mit einer mattgeschliffenen Schmalseite, so kann man mit GILLEY *(294 Nr. 44)* den Ort des Bildes in folgender Weise aufsuchen: Man macht auf der matten Fläche einen dünnen lotrechten Tintenstrich, legt die Platte auf den Tisch, sieht senkrecht durch die Fläche, die zur markierten parallel läuft, nach der Marke und verschiebt auf der obern Fläche der Platte eine Stecknadel, die in einer Brücke aus Karton steckt, so lange, bis man nach dem Abweichungsverfahren die Marke und die Nadel zur Deckung gebracht hat (Fig. 184). Der Abstand der markierten Fläche von

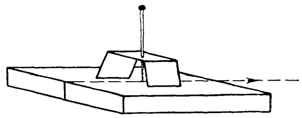

Fig. 184.

der parallelen Vorderfläche, geteilt durch den Abstand der Nadel von der Vorderfläche, gibt den Brechungsquotienten.

Zum 2. Verfahren. Bei (h) bis (l) lasse man einmal nahezu senkrecht einfallende und einmal ganz schräg einfallende benachbarte Strahlen benutzen, um dem falschen Schluß vorzubeugen, daß das Bild auf dem Lot von der Nadel A auf den parallelen Flächen liegt. Über die elementare geometrische Behandlung dieser Aufgabe vgl. H. Hahn, *Jahresber. d. Margarethenschule zu Berlin 1893* oder *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 7, 17; 1893.* E. Götting, *a. a. O. 9, 235; 1896.*

Will man ein größeres Stück der Diakaustik aufnehmen, so mache man die Marke nicht in der Mitte, sondern am Rande der Fläche. Man benutze bei diesem Versuch breite Glasplatten.

Nach dem Verfahren, das hier angewandt wurde, kann man auch die Katakaustik und Wellenlinie eines Zylinderspiegels, den Strahlenweg bei der Brechung in einer Zylinderlinse, die Diakaustik für diese, die Entstehung des Regenbogens usw. behandeln.

7. Aufgabe. *Welchen Weg macht ein Lichtstrahl, der durch ein Prisma geht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Glazebrook *71 Nr. 12.* Wilberforce-Fitzpatrick *2, 30 Nr. 4.* Clay *9 Nr. 3.*

Geräte. Glasprisma.
Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).
Putzleder.

Anleitung. a) Hefte auf das Reißbrett den Bogen und stecke zwei Nadeln D und $E \sim 10$ cm voneinander entfernt lotrecht ein (Fig. 185). Stelle in der Nähe von E das Prisma auf das Papier und drehe es so, daß du durch das Prisma hindurch D und E erblicken kannst.

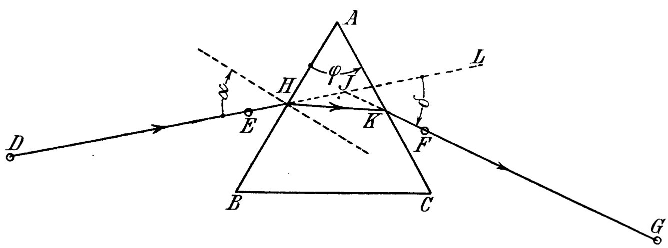

Fig. 185.

Siehe mit einem Auge so auf die Fläche AC, daß die Bilder von D und E sich decken und stecke in der Nähe des Prismas die Nadel F und möglichst weit davon entfernt die Nadel G so ein, daß D, E, F und G scheinbar in einer Ebene liegen. Umringle die Stiche und umfahre mit einem spitzen Blei den Umriß der Prisma-Grundfläche. Entferne Prisma und Nadeln.

b) Ziehe durch D und E und durch F und G Geraden. Zeichne den Weg des Strahls in dem Prisma.

c) Ist der austretende Strahl KG dem eintretenden Strahl DH parallel? Ist der austretende Strahl nach der *brechenden Kante A* zu oder davon weg abgelenkt? *Ablenkungswinkel* $LJF = \delta$.

d) Wiederhole wenigstens dreimal den Versuch und benutze jedesmal einen andern Einfallswinkel α.

e) Miß mit dem Winkelmesser den *brechenden Winkel* φ, die Einfallswinkel α und die Ablenkungswinkel δ. Ändert sich der Ablenkungswinkel mit dem Einfallswinkel?

f) Stecke wie bei (a) den Weg des Lichtstrahls $DEFG$ (Fig. 186) ab. Verschiebe die Nadel E nach einer benachbarten Stelle E' und stecke dann auf die gleiche Weise die Richtung des Lichtstrahls $F'G'$ ab, der aus dem Prisma austritt. Verlängere $F'G'$ rückwärts bis zum Schnittpunkt D' mit FG. Ziehe DD' und miß den Winkel, den diese Gerade mit der Kante AC bildet.

g) Lege wie in Fig. 187 das Prisma auf den Bogen und umfahre mit dem Blei den Umriß der Grundfläche ABC. Stecke nahe

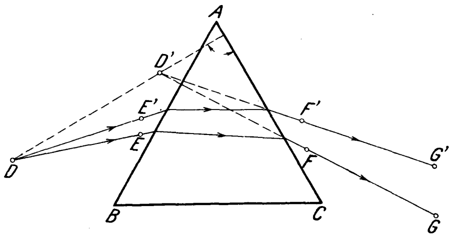

Fig. 186.

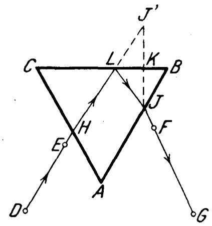

Fig. 187.

beim Prisma die Nadeln E und F lotrecht ein. Siehe mit einem Auge in der Richtung DE durch das Prisma. Man sieht ein Bild der Nadel F, das durch Spiegelung an der Fläche BC entsteht. Bewege den Kopf der Nadel F ein wenig und beachte, daß sich dann auch das Bild bewegt. Stecke die Nadel D möglichst weit von E entfernt lotrecht so in das Brett, daß sie mit E und dem Spiegelbild von F scheinbar in einer Geraden liegt.

h) Sieh in der Richtung GF in das Prisma und stecke auf die gleiche Weise die Nadel G ein (man kann diese Nadel auch einstecken, während man von D nach E blickt). Umringle die Nadelstiche und entferne Prisma und Nadeln.

i) Ziehe die Strecke DE und verlängere sie bis zum Schnittpunkt H mit AC. Ziehe die Strecke GF und verlängere sie bis zum Schnittpunkt J mit AB. Der Lichtstrahl ist im Innern des Prismas bei L zurückgeworfen worden, und es liegt daher das Bild J' von J ebenso weit hinter BC als J davor. Fälle von J aus das Lot JK auf BC, mache $KJ' = KJ$ und ziehe die Gerade $J'H$, die BC in L schneidet. Es ist also HLJ der Weg des total reflektierten Lichtstrahls im Prisma.

Bemerkungen. Das Glasprisma, das ich seither verwandte, ist 3,5 cm hoch. Der Querschnitt ist ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seiten 3 cm lang sind. Die beiden Endflächen und eine Seitenfläche sind matt geschliffen. Will man wie in (g) bis (i) den Weg des Lichtstrahls aufnehmen, der an einer Fläche des Prismas total reflektiert wird, so darf, wie bei Aufgabe 4, keine Seite des Prismas matt geschliffen sein. Es ist daher ratsam, Prismen mit drei polierten Flächen zu benutzen und in den Fällen, wo dies erforderlich ist, die dritte polierte Fläche mit einem Stück Papier zu bedecken. Bei den Aufgaben 3 (Verfahren 3) und 4 sind größere Prismen erforderlich, und bei den Aufgaben 18 bis 19 Prismen von größerer Dispersion wünschenswert.

8. Aufgabe. *Welchen Weg macht ein Lichtstrahl, der beim Durchgang durch das Prisma am wenigsten abgelenkt wird?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 7, S. 268.

1. Verfahren.

Literatur. GLAZEBROOK *72 Nr. 13.* GRIMSEHL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 203 Nr. 2; 1904.*

Anleitung. a) Stecke wie in Aufgabe 7 (a) den Weg des Lichtstrahls $DEFG$ ab (Fig. 185) und markiere L ebenfalls durch eine Nadel.

b) Drehe das Prisma um die brechende Kante A und ändere dadurch den Einfallswinkel bei H. Im allgemeinen dreht sich dabei auch der austretende Strahl, man muß also auch das Auge bewegen, um alle Nadeln wieder in einer Ebene zu sehen. War die Ablenkung des Strahles derart, daß man das Auge nach rechts bewegen muß, dann liegt nun G näher bei L als vorher. Die Ablenkung ist also jetzt kleiner geworden. Drehe das Prisma in demselben Sinn noch weiter. Anfangs bewegt sich G noch weiter gegen L, nach einiger Zeit aber hört die Bewegung auf und G entfernt sich nun von L.

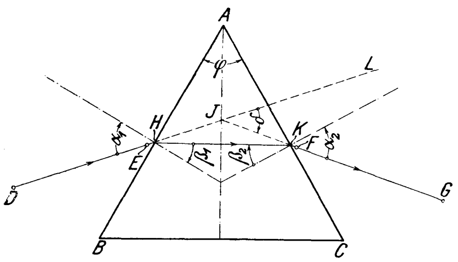

Fig. 188.

c) Suche so die Stellung des Prismas, wo G so nahe wie möglich bei L liegt, und zeichne den Umriß des Prismas und den Weg des Strahls bei der Stellung, wo die Ablenkung am kleinsten ist (Fig. 188).

d) Miß mit dem Winkelmesser den Eintrittswinkel α_1, den Austrittswinkel α_2, die Brechungswinkel β_1 und β_2 und mit dem Maßstab die Längen AH und AK und vergleiche diese Werte miteinander. Wie liegen der eintretende und der austretende Strahl zur Halbierungsebene des brechenden Winkels?

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Prisma Nr. . . .

Eintrittswinkel α_1	Austrittswinkel α_2	$\alpha_1 - \alpha_2$	Brechungswinkel β_1	Brechungswinkel β_2	$\beta_1 - \beta_2$	AH cm
	Mittel	. . . . . .		Mittel	. . . . . .	

AK cm	$AH - AK$	Ablenkung δ	Brechender Winkel φ	$^1/_2\,\varphi$	$^1/_2\,(\delta + \varphi)$	Brechungsquotient ν
Mittel	. . . .				Mittel	. . . .

f) Vergleiche β_1 und β_2 mit $^1/_2\,\varphi$ und ferner α_1 und α_2 mit $^1/_2\,(\delta + \varphi)$.

g) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mindestens noch zweimal und bilde aus den Werten von $\alpha_1 - \alpha_2$, $\beta_1 - \beta_2$, $AH - AK$, δ und φ das Mittel.

h) Berechne mit den Mittelwerten von δ und φ den Brechungsquotienten ν nach der Formel

$$\nu = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta + \varphi)}{\sin \frac{1}{2}\varphi}.$$

2. Verfahren.

Literatur. Clay *9 Nr. 3.*

Anleitung. i) Stelle das Prisma auf das Papier und ziehe mit einem scharfen Blei Geraden längs AB und AC (Fig. 188). Nimm das Prisma weg, schlage mit AE einen Kreis um A und stecke die Nadeln E und F dicht bei AB und AC auf den Kreisbogen. Setze das Prisma wieder an seine frühere Stelle, achte dabei sorgfältig darauf, daß die Kanten wieder genau mit den Geraden AB und AC zusammenfallen. Sieh mit einem Auge in der Richtung DE durch das Prisma, halte den Kopf so, daß E mit dem Bilde von F zusammenfällt und stecke dann die Nadel D ein, und zwar so weit von E entfernt, wie es das Papier gestattet. Siehe nun in der Richtung GF durch das Prisma und stecke die Nadel G so ein, daß sie mit F und dem Bilde von E in einer Geraden liegt. Umringle die Nadelstiche und nimm das Prisma und die Nadeln weg.

k) Verbinde D mit E und verlängere die Gerade bis L. Sie schneidet AB in H. Verbinde ebenso G mit F und verlängere die

Gerade bis zum Schnittpunkt J mit mit DL. Sie schneidet AC in K. Errichte in den Punkten H und K die Einfallslote.

l) Verfahre wie bei (d) bis (h).

Bemerkungen. GILLEY *(297 Nr. 47)* bestimmt das Minimum der Ablenkung auf folgende Weise: Er läßt den Schatten einer Nadel D (Fig. 185) nahe bei der brechenden Kante A auf das Prisma fallen. Er dreht nun das Prisma um A als Drehpunkt vor- und rückwärts und beobachtet die Richtung des Schattens rechts von AC und markiert die Lage KG, wo er am wenigsten nach C abgelenkt erscheint. Er dreht dann, um sicher zu sein, daß die Marke G auf der Schattenlinie liegt, wenn sie am wenigsten gebrochen wird, nochmals das Prisma. Nun nimmt er das Prisma weg und markiert die Schattenrichtung DL. Der Winkel zwischen KG und DL ist der Winkel der kleinsten Ablenkung. Das Verfahren ist nicht bequem und sicher.

III. Sphärische Spiegel und Linsen.

9. Aufgabe. *Welche Bilder erzeugt ein Hohlspiegel?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. GLAZEBROOK *102 Nr. 17.* WILBERFORCE-FITZPATRICK *2, 36 Nr. 3.* CREW-TATNALL *200 Nr. 90.* H. HAHN *a. a. O. 79 Nr. 5.*

Geräte. Kugelspiegel. 2 Stricknadeln in Holzklötzen. Millimetermaßstab aus Holz, 30 cm lang, an dem Nullende abgeschrägt (Fig. 190). Putzleder.

Anleitung. a) Benutze als Gegenstand, dessen Bilder zu untersuchen sind, die Spitze einer Nadel. Stelle sie in 30 oder mehr Zentimeter Abstand vom Spiegel auf, sieh daran vorbei in den Spiegel und suche ihr Bild (Fig. 189). Findest du es nicht, so drehe, da das bewegte Bild leichter zu erkennen ist, ein wenig den Spiegel. Ist das Bild umgekehrt und kleiner als der Gegenstand? Wenn nicht, entferne die Nadel weiter vom Spiegel.

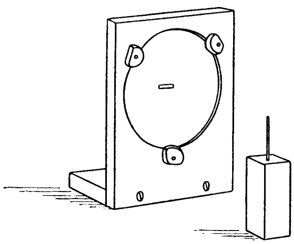

Fig. 189.

b) Schiebe, sobald du ein umgekehrtes und verkleinertes Bild erhalten hast, die Nadel langsam gegen den Spiegel. Bewegt sich das Bild darauf zu oder davon weg? Wird es größer oder kleiner?

c) Suche die Stelle, wo das Bild lotrecht über der Nadel steht und ebenso groß wie sie ist. Laß beide Spitzen zusammenfallen. *Krümmungsmittelpunkt.*

d) Nähere dem Spiegel die Nadel noch mehr. Wohin wandert das Bild? Wird es größer oder kleiner? Beachte die Stelle, wo das Bild in grenzenlos weite Entfernung geeilt ist und bei ganz geringem Verrücken der Nadel plötzlich aufrecht hinter dem Spiegel erscheint. *Spiegelscheitel, Spiegelachse, Brennpunkt.*

e) Nähere dem Spiegel die Nadel noch mehr. Wie bewegt sich das Bild? Ist es aufrecht oder umgekehrt?

f) Schreibe die Ergebnisse der Versuche (b) bis (e) in folgender Weise auf:

Art des Bildes	Umgekehrt							unbestimmt	Aufrecht		
	verkleinert			so groß wie der Gegenstand	vergrößert				vergrößert		
	stark	weniger	noch weniger		etwas	mehr	noch mehr		stark	weniger	noch weniger
Abstand des Gegenstandes in cm vom Spiegel	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . .

g) Vergleiche die Bewegungen der Nadelspitze A und ihres Bildes B mit den Wanderungen zweier Punkte P und Q, die in bezug auf das Punktepaar M und N harmonisch konjugiert sind. In bezug auf welche Punkte der Spiegelachse sind bei dieser Annahme wohl A und B konjugiert? *Gegenstandsweite a, Bildweite b.* Welche Formel läßt sich auf Grund dieser Forschungshypothese für den Krümmungshalbmesser r des Spiegels als harmonisches Mittel zwischen a und b aufstellen? $1/a + 1/b = 2/r$. *Brennweite $f = \frac{1}{2} r$. Notwendigkeit, die vermutete Formel*

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

durch Messungen zu prüfen.

h) Stelle in die Achse des Spiegels die eine Nadel und mache durch die andre Nadel die Lage des Bildes kenntlich. Bringe nach dem „Abweichungsverfahren“ (vgl. Aufg. 2, S. 257) diese Nadel und das Bild jener genau zur Deckung. Miß nun mit dem abgeschrägten Millimeterstab (Fig. 190) die Gegenstandsweite a und die Bildweite b. Stelle die Nadel dreimal ein und nimm aus den Messungen das Mittel.

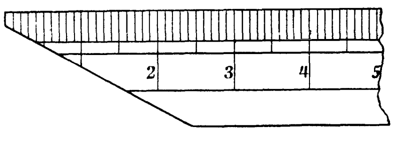

Fig. 190.

i) Führe den Versuch sechsmal aus und wähle dabei je zweimal

$$a > r, \quad r > a > f, \quad f > a.$$

Stelle im letzten Fall die zweite Nadel hinter den Spiegel, halt ein Blatt weißes Papier dahinter und mache sie so gut sichtbar. Schaue durch den schmalen wagerechten Spalt der Silberbelegung hindurch und bringe die hintere Nadel mit dem Bilde der vordern zur Deckung.

k) Trage in die folgende Tafel die Ergebnisse ein, beachte jedoch, daß b negativ zu nehmen ist, wenn das Bild hinter dem Spiegel liegt.

a cm	b cm	$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$	f cm	r cm
		Mittel	. . . . .	. . . . .

$^1/_2\, r = f = \ldots$

l) Berechne $1/a + 1/b$ und f. Welche Beziehung besteht zwischen den verschiedenen Werten von f? Bilde den Mittelwert.

m) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = a$ und $y = b$. Verbinde die zusammengehörigen Punkte $a|o$ und $b|o$ miteinander. In welchem Punkt schneiden sich die Geraden? Welche optische Bedeutung haben die Koordinaten des Schnittpunkts? Welchen Wert liefert die graphische Darstellung für die Brennweite?

n) Stelle die Nadel in den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels und bringe nach dem „Abweichungsverfahren" die Spitze mit ihrem Bilde genau zur Deckung. Miß den Krümmungshalbmesser und trage seine Länge in die Spalte mit der Überschrift r ein. Wiederhole die Einstellung und Messung sechsmal. Bilde den Mittelwert und berechne daraus $^1/_2\, r = f$. Vergleiche diese unmittelbar gemessene Länge mit dem Wert, der aus den Messungen von a und b berechnet worden ist, und mit dem Ergebnis der graphischen Bestimmung.

o) Klemme an einem Bunsengestell den Spiegel derart fest, daß das Sonnenlicht darauf fällt, und halte vor dem Spiegel einen schmalen Papierstreifen an die Stelle, wo das Sonnenbild am kleinsten und hellsten erscheint. Miß den Abstand des Bildes vom Scheitel des Spiegels. Wem ist diese Entfernung gleich?

p) Fange in der gleichen Weise mit dem schmalen Papierstreifen das Bild eines entfernten Gebäudes auf und wiederhole die Messung.

Bemerkungen. Als Spiegel dient ein Uhrglas von 8 cm Durchmesser und 9,8 cm Krümmungshalbmesser, das auf der Rückseite versilbert, poliert und mit Zaponlack überzogen ist. In der Mitte der Silberschicht ist nach WILBERFORCE ein wagerechter Spalt (1 cm $\times$ 0,2 cm) herausgeschabt. An ein Grundbrett (10 cm $\times$ 4,7 cm $\times$ 1,1 cm) ist genau rechtwinklig ein Holzbrett (12,3 cm $\times$ 10 cm $\times$ 0,9 cm) aufgeschraubt, aus dessen Mitte eine Öffnung, etwas größer als das Uhrglas, mit einem Ansatz, etwas kleiner als das Uhrglas, herausgedreht ist. Der Spiegel ist mit drei kreisförmigen Korkscheiben, wovon ein Segment weggeschnitten, und mit Nägeln, die durch die Mittelpunkte getrieben sind, so befestigt, daß der Spiegelscheitel genau 7,5 cm über der Tischplatte liegt (Fig. 189). Die Uhrgläser müssen sehr sorgfältig ausgewählt werden. Liefern sie keine guten Bilder, so erschweren sie die Übung, die die Augen der Schüler recht anstrengt. Verfügt man über ausreichende Mittel, so ist es ratsam, anstatt der Uhrgläser bessere Spiegel mit einer Brennweite von 5 bis 15 cm zu erwerben. Zwei vernickelte Stricknadeln, die als Gegenstand und Marke dienen, sind in Holzklötze (5 cm $\times$ 2,5 cm $\times$ 2,5 cm) so eingesetzt, daß 2,5 cm herausragen und die Spitzen genau 7,5 cm über der Tischplatte liegen.

Ist das Bild der Nadel nicht gut sichtbar, so beleuchte man sie durch die Flamme eines Schnittbrenners, den man seitlich davon aufstellt.

Anstatt die Formel $1/a + 1/b = 1/f$ aus den harmonischen Beziehungen von Gegenstand, Bild, Scheitel und Krümmungsmittelpunkt zu ermitteln, kann man sie, wie später bei den Linsen gezeigt wird (Aufgabe 11 f), auch aus der graphischen Darstellung ableiten.

10. Aufgabe. *Welche Bilder erzeugt ein erhabener Spiegel?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9.

Anleitung. **a)** Stelle vor die erhabene Seite des Spiegels als Gegenstand eine Nadel und suche das Bild. Liegt es vor oder hinter dem Spiegel? Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand, ist es aufrecht oder umgekehrt?

b) Stelle in verschiedenen Abständen vom Spiegel die Nadel auf und prüfe, ob in allen Fällen die auf jene Fragen erhaltenen Antworten richtig bleiben.

c) Gilt die Formel für den Hohlspiegel auch für den erhabenen Spiegel? Stelle vor den Spiegel in seine Achse die eine Nadel, schaue durch den schmalen wagerechten Spalt der Silberschicht und bringe nach dem Abweichungsverfahren die andre Nadel hinter dem Spiegel mit dem Bilde der erstern genau zur Deckung. Halte dabei hinter die Nadel, die hinter dem Spiegel steht, ein Blatt weißes Papier und mache sie so gut sichtbar.

d) Miß a und b und nimm, wenn das Bild hinter dem Spiegel liegt, b negativ. Mache fünf Messungen. Trage die Werte in eine Tafel ein, die ebenso wie die von Aufgabe 9 eingerichtet ist. Berechne den Mittelwert der Brennweite und daraus r und vergleiche diesen Wert mit dem, der in Aufgabe 9 erhalten worden ist.

Bemerkung. Diese Aufgabe wird man nur behandeln, wenn man viel Zeit zur Verfügung hat.

11. Aufgabe. *Welche wirklichen Bilder erzeugt eine Sammellinse?*

(1 Schüler, 2 und 1 Stunde.)

Literatur. GLAZEBROOK *126 Nr. 19.* WILBERFORCE-FITZPATRICK *2, 40 Nr. 6.* CREW-TATNALL *204 Nr. 92.* H. HAHN, *a. a. O. 81 Nr. 7.* GRIMSEHL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 205; 1904.*

Geräte.

Optische Bank (vgl. S. 279).	Planspiegel.
Gegenstand (vgl. S. 279).	Schnittbrenner.
Linse (vgl. S. 279).	Gasschlauch.
Schirm (vgl. S. 279).	Putzleder.
Nadel mit Holzfuß (vgl. S. 274).	

Anleitung. **a)** Stell an dem Ende der optischen Bank, das vom Fenster weggewandt ist, als Gegenstand den Schirm mit der Drahtgaze auf und beleuchte ihn von hinten mit dem Schnittbrenner. Setz auf das andere Ende der Bank den Kartonschirm. Verschiebe zwischen diesem und dem Gegenstand die Linse vor- und rückwärts, bis ein möglichst scharfes Bild des Drahtfensters auf dem Schirm erscheint (Fig. 191). Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand? Bedecke mit einer Karte einen Teil des Drahtfensters. Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt?

b) Suche, ohne den Gegenstand und den Schirm zu verschieben, eine zweite Stellung der Linse, wo sie ein scharfes Bild auf dem Schirm entwirft. Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand, aufrecht oder umgekehrt? Steht das Bild oder der Gegen-

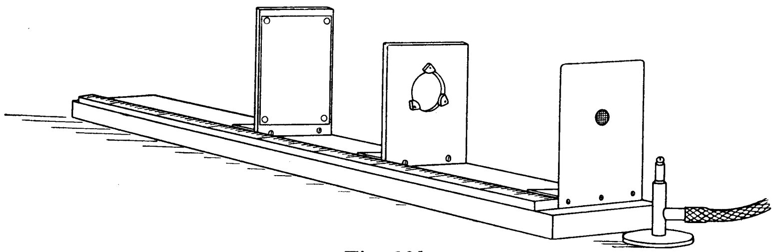

Fig. 191.

stand der Linse näher, wenn das Bild kleiner als der Gegenstand ist? Steht das Bild oder der Gegenstand der Linse näher, wenn das Bild größer als der Gegenstand ist?

c) Schiebe den Schirm etwas näher an das Drahtfenster und suche wieder zwei Stellungen der Linse, wo ein Bild auf dem Schirm entsteht. Ist es möglich, bei jedem Abstand von Gegenstand und Schirm die Linse so zu stellen, daß sie ein deutliches Bild erzeugt? Wie groß ist die kleinste Entfernung zwischen Schirm und Drahtfenster, wobei die Linse ein deutliches Bild entwirft?

d) Stelle ein Bild ganz scharf ein und lies am Meterstab so genau wie möglich die Stellungen von Gegenstand, Linse und Bild in bezug auf den Nullpunkt ab. Mache die Einstellungen dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel. Berechne daraus den Abstand des Gegenstandes von der Linse, die *Gegenstandsweite a*, und den Abstand des Bildes von der Linse, die *Bildweite b*, und trage sie in die folgende Tafel ein.

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen			a cm	b cm	$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$	f cm berechn.	f cm beob.
Gegenstand	Linse	Schirm					
					Mittel	. . . . .	. . . . . .

e) Mache wenigstens 5 Messungen von a und b und ändere dabei jedesmal die Entfernungen zwischen Gegenstand und Schirm.

f) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, setze dabei $x = a$ und $y = b$. Verbinde die Punkte $a|o$ und $o|b$ miteinander (Fig. 192). Schneiden sich diese Geraden in einem Punkt? Miß die Koordinaten des Punktes F und vergleiche sie miteinander. *Brennweite f.* Wie lautet die Gleichung einer Geraden, deren Achsenabschnitte a und b sind? Welche Bedingung wird erfüllt, wenn diese Gerade durch den Punkt $f|f$ geht? Welche Beziehung muß also nach der graphischen Darstellung zwischen a, b und f bestehen? *Linsenformel.*

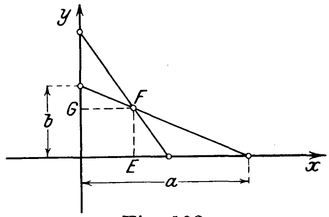

Fig. 192.

g) Berechne $1/a + 1/b$, f und den Mittelwert der f und vergleiche diesen mit dem Wert, der bei der graphischen Darstellung erhalten worden ist.

h) Nimm das Drahtnetz weg, richte die optische Bank auf einen entfernten Gegenstand, Schornstein oder dergleichen, vor dem Fenster und entwirf dessen Bild auf dem Schirm. Welchen Wert hat b nahezu, da a sehr groß ist? Miß so f fünfmal, trage die Werte in die letzte Spalte der Tafel ein und berechne den Mittelwert. Vergleiche die Mittelwerte der aus a und b berechneten und der unmittelbar beobachteten Brennweite.

i) Kann man mit der Linse selbst Strahlen herstellen, die wie die Sonnenstrahlen parallel sind? Stelle einen ebenen Spiegel so hinter die Linse, daß seine Normale in die Achse der Linse fällt. Setze vor die Linse eine Nadel derart, daß ihre Spitze in der Linsenachse liegt. Wie wirkt der Spiegel auf die Strahlen, die von der Nadelspitze ausgehen und durch die Linse hindurchtreten? Welche Richtung müssen die Strahlen zwischen Linse und Spiegel haben, und wo muß die Nadel stehen, damit sich die Strahlen nach der Zurückwerfung durch den Spiegel und nach dem Rückweg durch die Linse wieder in ihrem Ausgangsort schneiden? Verschiebe die Nadel nach dem Abweichungsverfahren, bis das Bild der Nadelspitze mit der Nadelspitze selbst zusammenfällt. An welchem ausgezeichneten Ort steht die Nadel nach der Einstellung? Miß sorgfältig den Abstand der Nadelspitze von der Mitte der Linse. Wiederhole die Einstellung und die Messung fünfmal, bilde den Mittelwert und vergleich ihn mit den Ergebnissen von (g) und (h).

k) Ändern wir den Abstand von Gegenstand und Schirm nicht, so können wir nach Versuch (b) und (c) zwei Stellungen der Linse finden, wo scharfe Bilder auf dem Schirm entstehen, wenn jener Abstand eine gewisse Größe übersteigt, die wir bei (c) gemessen haben. Wievielmal so groß als die Brennweite ist der bei (c) gemessene kleinste Abstand von Gegenstand und Schirm, wobei noch ein scharfes Bild entsteht?

Bedeutet l den gleichbleibenden Abstand von Gegenstand und Schirm, so bestehen die Gleichungen

$$a + b = l \quad \text{und} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

die sich auf die Form

$$a + b = l \quad \text{und} \quad ab = lf$$

bringen lassen. Es sind also a und b die Wurzeln der quadratischen Gleichung

$$x^2 - lx + lf = 0.$$

Die Diskriminante der linken Seite ist

$$D = l(l - 4f).$$

Der kleinste Abstand des Schirmes vom Gegenstand, wobei noch ein Bild entsteht, ist also $4f$. Die Wurzel d aus der Diskriminante D ist gleich der Verschiebung der Linse zwischen den beiden Stellungen, wo diese bei gleichbleibendem l scharfe Bilder entwirft. Da sich nun l und d genauer als a und b messen lassen, so empfiehlt es sich, nach dem Vorgang von Bessel f, anstatt aus a und b, nach der Formel

$$f = \frac{1}{4}\left(l - \frac{d^2}{l}\right)$$

zu berechnen und diesen Wert mit der unmittelbar gemessenen Brennweite zu vergleichen.

Man kann auch mit F. Kohlrausch *(Lehrb. d. prakt. Phys. 269, 4)* diese Formel auf folgende Weise ableiten. Aus

$$l = a + b \quad \text{und} \quad d = a - b$$

folgt

$$a = \frac{1}{2}(l + d) \quad \text{und} \quad b = \frac{1}{2}(l - d).$$

Es ist aber

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{l + d} + \frac{2}{l - d} = \frac{4l}{l^2 - d^2},$$

woraus sich

$$f = \frac{1}{4}\left(l - \frac{d^2}{l}\right) \quad \text{und} \quad d^2 = l(l - 4f)$$

ergibt.

l) Wiederhole (a) bis (c), miß jedesmal sorgfältig den Abstand (l cm) des Gegenstandes vom Schirm und die Verschiebung (d cm) der Linse. Mache drei Einstellungen und nimm die Mittel aus den Ablesungen. Führe so fünf Messungen aus.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen			Abstand des Gegenstandes vom Schirm l cm	Linsenverschiebung d cm	$f = \frac{1}{4}\left(l - \frac{d^2}{l}\right)$
Gegenstand	Schirm	Linse			
				Mittel	. . . .

n) Berechne f, nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel und vergleiche es mit den Ergebnissen von (g), (h) und (i).

Bemerkungen. Die optische Bank besteht aus einem Grundbrett (105 cm × 13 cm × 2 cm), worauf längs einer Seitenkante ein hölzerner Metermaßstab mit Millimeterteilung (100 cm × 2,5 cm × 0,8 cm) aufgeschraubt ist (Fig. 191). Der Gegenstand wird auf folgende Weise hergestellt: An ein Grundbrett (10 cm × 4,7 cm × 1 cm) wird genau rechtwinklig eine 0,05 cm starke geschwärzte Zinkblechscheibe (12,5 cm × 10 cm) geschraubt, woraus ein 1,2 cm weites Loch so herausgeschnitten ist, daß dessen Mitte genau 7,5 cm über der optischen Bank liegt. Auf das Loch ist ein Drahtnetz (1 mm Maschenweite) gelötet. Die Beleuchtung liefert ein Schnittbrenner, der 6,8 cm hoch ist. Die Linse hat folgende Fassung: An ein Grundbrett (10 cm × 4,7 cm × 1,2 cm) ist genau rechtwinklig ein Brett (12,5 cm × 10 cm × 1,2 cm) geschraubt, worin ein bikonvexes Brillenglas (Durchmesser 4 cm, Brennweite 12,5 cm) ähnlich wie der Spiegel

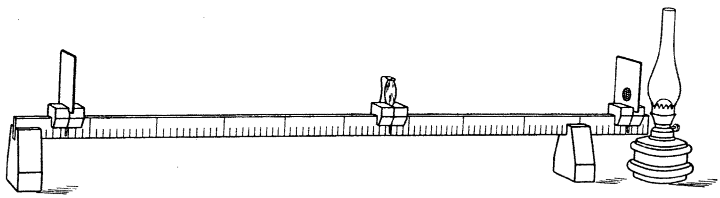

Fig. 193.

(Aufg. 5) so gefaßt ist, daß die Linsenachse genau 7,5 cm über der optischen Bank liegt. Der Schirm hat folgenden Bau: An ein Grundbrett (10 cm × 4,7 cm × 1,2 cm) ist genau rechtwinklig ein Brett (14,7 cm × 10 cm × 0,9 cm) aus Pappelholz geschraubt und darauf ein Rechteck aus weißem Karton (14,7 cm × 10 cm) mit Reißnägeln befestigt. Statt des aufrechten Brettes kann man auch eine Mattglasscheibe verwenden.

Eine andere Ausführung der optischen Bank hat Hall *(Descr. List 29 Nr. 22; 83 Nr. 21; 84 Nr. 31 u. 32)* angegeben. Sie ist in Fig. 193 abgebildet. Die Einfügung des hölzernen Maßstabes in die Nuten der Holzfüße ist unbequem. Dieser Mangel ist bei der optischen Bank vermieden, die Grimsehl a. a. O. beschrieben hat. Andere einfache Versuchsanordnungen findet man bei Schuster-Lees, *Intermed. Course 133 Nr. 25* und bei Quincke, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 5, 116 Nr. 4; 1892.*

Durch Einschaltung von Blenden mit geeigneten Öffnungen kann man die Bilder schärfer machen.

Bei Versuch (*i*) kann man entweder den Spiegelmaßstab oder eine Spiegelscheibe benutzen, die man mit Klebwachs oder Kautschukringen am Schirmbrett befestigt.

Zur Berechnung der Gegenstandsweite a und der Bildweite b liest man die Stellungen A_g, A_l und A_s der Vorderflächen der Bretter ab, worauf das Drahtnetz, die Linse und der Karton befestigt sind. Die Unterschiede dieser Ablesungen liefern nicht genau die Abstände von Drahtnetz, Linse und Schirm; es ist also nicht genau

$$a = A_l - A_g \quad \text{und} \quad b = A_s - A_l,$$

sondern

$$a + \Delta a = A_l - A_g \quad \text{und} \quad b + \Delta b = A_s - A_l.$$

Diese Ablesungsfehler kann man auf folgende Weise ermitteln: Man schiebt das Drahtnetz und die Linse auseinander, hält eine Stricknadel so in die Achse der Linse, daß das eine Ende die Mitte des Drahtnetzes berührt, und nähert dann die Linse so weit, daß ihre Mitte gegen das andere Drahtende stößt. Nun zieht man die Stricknadel behutsam heraus, legt sie mit einem Ende dort auf den Maßstab, wo die Vorderfläche des Drahtnetzbrettes steht, und mißt dann den Abstand des anderen Drahtendes von der Stelle, wo die Vorderfläche des Linsenbrettes am Maßstab liegt. Dieser Abstand ist Δa. Auf die gleiche Weise ermittelt man Δb. Es ist jedoch kaum zu empfehlen, diese Verbesserungen anzubringen und die Linsendicke zu berücksichtigen.

12. Aufgabe. *Welche Scheinbilder erzeugt eine Sammellinse?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. WILBERFORCE-FITZPATRICK *2, 38 Nr. 4 u. 40 Nr. 6.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11, doch ohne Drahtnetz, dazu Halbe Sammellinse. | Nadel auf Holzklotz (vgl. S. 274). Stecknadeln. 2 Nadelhalter (vgl. S. 281).

Anleitung. a) Stell ähnlich wie in Aufgabe 11 (a) Brenner und Linse so auf die Bank, daß die Gegenstandsweite $\sim$ 4 cm ist. Sieh durch die Linse nach der kleinen Flamme. Ist das Bild größer oder kleiner als der Gegenstand? Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt? Entferne allmählich die Linse vom Gegenstand. Wie ändert sich das Bild? Beachte, daß es bei einer bestimmten Gegenstandsweite unmöglich wird, ein scharfes Bild zu sehen, und daß hier bei einer kleinen Vergrößerung der Gegenstandsweite ein umgekehrtes Bild sichtbar wird, wenn man das Auge weit genug hinter die Linse hält. Wie ändert sich die Größe des Bildes, wenn man den Abstand noch weiter vergrößert? Fange, sobald ein umgekehrtes Bild entsteht, dieses mit dem Schirm auf und stelle es scharf ein.

b) Entferne den Schirm und untersuche mit der Nadel nach dem Abweichungsverfahren, ob das Bild auf derselben Seite wie das Auge liegt. Erzeuge ein aufrechtes Bild und untersuche, ob es mit dem Auge auf derselben Seite der Linse liegt. Läßt sich das aufrechte Bild mit dem Schirm auffangen? *Scheinbild.*

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Art des Bildes	Aufrecht			unbestimmt	Umgekehrt						
	vergrößert				vergrößert			so groß wie der Gegenstand	verkleinert		
	etwas	stärker	noch stärker		stark	schwächer	noch schwächer		etwas	mehr	noch mehr
Gegenstandsweite in cm	. . .	. . .	. . .	. . . . .	. . .	. . .	. . .	. . . . .	. . .	. . .	. . .

d) Setze die halbe Linse (Fig. 194) auf die optische Bank und dahinter den einen Nadelhalter, befestige daran eine Nadel derart, daß sie wagerecht und parallel zur Linse steht, die Spitze auf der Achse der Linse liegt und der Abstand der Linsenmitte von der Nadelspitze $\sim$ 6 cm ist. Sieh durch die Linse und prüfe, ob ein aufrechtes Bild entsteht, dessen Spitze in der Linsenachse liegt. Stelle den andern Nadelhalter noch weiter als den ersten von der Linse entfernt auf und befestige eine Nadel daran parallel zur ersten, doch so,

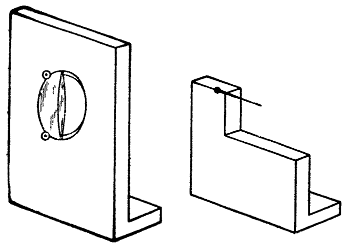

Fig. 194.

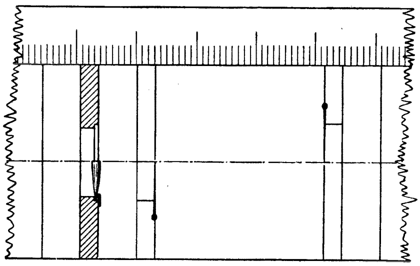

Fig. 195.

daß sie entgegengesetzt gerichtet ist (Fig. 195). Verschiebe nach dem Abweichungsverfahren diese zweite Nadel, bis ihre Spitze, mit dem bloßen Auge betrachtet, mit der Spitze der ersten Nadel, durch die Linse betrachtet, beim Auf- und Abwärtsbewegen des Kopfes stets zusammenbleibt, also scheinbar die eine Nadel die Verlängerung der andern Nadel bildet.

e) Miß sorgfältig die Abstände der beiden Nadelspitzen von der Linsenmitte. Mache die Einstellungen dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

f) Wiederhole den Versuch noch mit zwei Gegenstandsweiten, die kleiner als die Brennweite sind.

g) Verfahre wie bei Aufgabe 11 (d) bis (h). Mit welchem Vorzeichen ist b zu versehen?

Bemerkungen. Die Nadelhalter (Fig. 194) bestehen aus einem Brett von genau 7,5 cm $\times$ 3 cm $\times$ 1 cm, das streng rechtwinklig an ein

Grundbrett (10 cm × 3 cm × 1,2 cm) geschraubt ist. Die Nadeln befestigt man mit Klebwachs an der obern vordern Kante des lotrechten Brettchens.

Die halbe Sammellinse hat 4 cm Durchmesser und 12,5 cm Brennweite. Sie ist ähnlich wie die ganze Linse bei Aufgabe 11 gefaßt, doch so, daß die gerade Kante lotrecht steht und die Achse 7,5 cm über der optischen Bank liegt (Fig. 194).

Man kann auch die halbe Linse so fassen, daß ihre gerade Kante wagerecht liegt: Dann befestigt man die Nadel, die als Gegenstand dient, lotrecht in einem Brettchen von geringerer Höhe (7,5 cm weniger Nadellänge) und die Bildnadel auf einem 7,5 cm hohen Brett. Anstatt der Bildnadel kann man auch einen weißen Karton mit Strichmarke verwenden.

Man halte das Auge so, daß es vom Bilde ∼ 25 cm absteht.

Ein andres Verfahren findet man bei Schuster-Lees, *Intermed. Course 133 Nr. 25.*

13. Aufgabe. *Welche Scheinbilder erzeugt eine Zerstreuungslinse?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wilberforce-Fitzpatrick *2, 38 Nr. 5 u. 40 Nr. 6.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 12, doch ohne Drahtnetz und anstatt einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse von 12 bis 16 cm Brennweite, außerdem eine halbe Zerstreuungslinse.

Anleitung. **a)** Betrachte die kleine Flamme durch eine Linse, die in ∼ 4 cm Abstand davon aufgestellt ist. Ist das Bild aufrecht und verkleinert? Entferne allmählich die Linse von der Flamme und untersuche die Änderung der Bildgröße. Verschwindet jemals das Bild?

b) Untersuche wie bei Aufgabe 12, wo das Bild liegt, und ob man es mit einem Schirm auffangen kann.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Art des Bildes	Aufrecht verkleinert			
	etwas	mehr	noch mehr	noch viel mehr
Gegenstandsweite in cm	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .

d) Verfahre wie bei Aufgabe 12 (d) bis (g). Mache mindestens zwei Messungen mit verschiedenen Gegenstandsweiten.

Bemerkung. Ein anderes einfaches Verfahren findet man bei Schuster-Lees, *Intermed. Course 133 Nr. 25.*

14. Aufgabe. *Wie verhalten sich die Größen von Bild und Gegenstand bei einer Sammellinse?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Schuster-Lees, *Intermed. Course 137 Nr. 26.* R. A. Millikan, *School Science 6, 450; 1906.* Millikan-Gale *121 Nr. 47.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11, dazu Schublehre. Garn. | Fadenzähler. 2 Meterstäbe. Klebwachs.

Anleitung. **a)** Entwirf mit der Linse ein Bild des Drahtnetzes auf dem Schirm und miß die Gegenstandsweite a und die Bildweite b. Nimm dabei a etwas größer als $2f$.

b) Markiere mit einem Faden, der mit Klebwachs auf dem Drahtnetz befestigt wird, den wagerechten mittlern Draht und miß mit der Schublehre (vgl. S. 10) die Länge des beleuchteten Drahtstückes A und seines Bildes B.

c) Stelle dreimal ein und miß jedesmal a, b, A und B und nimm das Mittel aus den Ablesungen.

d) Mache den Abstand von Schirm und Gegenstand $\sim$ 60 cm groß, suche die beiden Stellungen der Linse auf, wo sie ein scharfes Bild des Netzes erzeugt. Miß in jedem der beiden Fälle die Gegenstandsweite, die Bildweite, die Länge des Drahtes und die Größen seiner Bilder, also a_1, a_2, b_1, b_2, A, B_1 und B_2. Mache jede Einstellung dreimal und nimm aus den Ablesungen die Mittel.

e) Es ist $B_1/A = b_1/a_1$, $B_2/A = b_2/a_2$ und, da $b_1/a_1 = a_2/b_2$, $A^2 = B_1 \cdot B_2$.

f) Wiederhole die Messungen (d) drei- bis viermal.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen			Abstand des Gegenstandes vom Schirm l cm	Bildweite a cm	Gegenstandsweite b cm	b/a	Länge des Bildes B	Länge des Gegenstandes A	$\frac{B}{A}$	$\frac{b}{a} - \frac{B}{A}$
Gegenstand	Schirm	Linse								
									Mittel	. . . . .

h) Für eine bestimmte Lage des Gegenstandes ist die Vergrößerung der Linse $v_1 = B_1/A = b_1/a_1$. Aus $1/a_1 + 1/b_1 = 1/f$ folgt

$$a_1 = f(1 + 1/v_1).$$

Verschiebt man den Gegenstand um die Strecke d cm, so wird die Vergrößerung v_2 und es ist

$$a_1 + d = f\left(1 + \frac{1}{v_2}\right),$$

also

$$f = \frac{d}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}}.$$

Man kann demnach durch Messung der Verschiebung d und der beiden Vergrößerungen v_1 und v_2 die Brennweite f bestimmen. *Verfahren von* ABBE.

i) Stelle den Schirm am einen Ende der Bank und die Linse ∼ 30 cm vom andern Ende auf. Entwirf auf dem Schirm ein scharfes Bild des Drahtnetzes, miß mit der Schublehre sehr sorgfältig die Länge A des markierten mittelsten Drahtes und die Länge B_1 seines Bildes und lies die Stellung des Drahtnetzes ab. Mache die Einstellung dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

k) Verschiebe das Drahtnetz um eine bestimmte Größe d, stelle, ohne die Linse zu verschieben, auf dem Schirm wiederum das scharfe Bild ein und verfahre wie bei (i). Die Länge des Bildes ist diesmal B_2.

l) Wiederhole die Messungen (i) und (k) nochmals.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen Gegenstand 1	2	Verschiebung des Gegenstandes d cm	Ort des Schirmes	Länge des Gegenstandes A cm	Länge des Bildes B_1 cm	B_2 cm	Vergrößerungen $v_1 = \frac{B_1}{AA}$	$v_2 = \frac{B_2}{AA}$	Brennweite $f = \frac{d}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}}$
								Mittel	. . . . . .

n) Berechne die Vergrößerungen v_1 und v_2 und daraus die Brennweite der Linse.

o) Lege einen Meterstab auf den Tisch, stelle einen andern Meterstab lotrecht auf und halte das linke Auge so daneben, daß es aus der Höhe 25 cm auf den wagerechten Maßstab hinabsieht. Bringe nun dicht vor das rechte Auge die Linse des Fadenzählers (Fig. 196). Halte beide Augen offen und zähle mit dem unbewaffneten linken Auge, wieviel (L) Millimeter das Scheinbild der Öffnung in der Grundplatte des Fadenzählers, das man mit dem andern bewaffneten Auge durch die Linse sieht, auf dem Maßstab abgrenzt. Teile diese Zahl L durch die Breite (l mm) der Öffnung in der Grundplatte. Der Quotient gibt an, wievielmal der Gegenstand, wenn man ihn durch die Linse betrachtet,

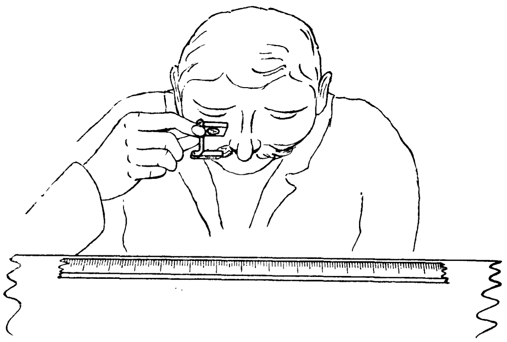

Fig. 196.

größer erscheint, als wenn man ihn mit bloßem Auge in der kleinsten Weite des deutlichen Sehens ($\sim$ 25 cm) beobachtet.

p) Ist l mm die Breite der Öffnung der Grundplatte und a mm der Abstand der Linsenmitte von der Öffnung, so erscheint das Bild der Öffnung scharf in der kleinsten Weite (A cm) des deutlichen Sehens und von der Größe L. Es ist also $1/a - 1/A = 1/f$ und die Vergrößerungszahl des Fadenzählers.

$$m = \frac{L}{l} = \frac{A}{a} = 1 + \frac{A}{f}.$$

q) Miß so genau wie möglich die Brennweite f cm der Lupe, berechne unter der Annahme $A = 25$ [cm] die Vergrößerungszahl m des Fadenzählers und vergleiche das Ergebnis mit dem Wert, der bei (o) ermittelt worden ist.

Bemerkungen. Als Gegenstand verwendet man bei den Versuchen (a) bis (n) besser eine Blende mit wagerechtem Spalt von $\sim$ 2 cm Länge oder ein größeres Drahtnetz als hier benutzt wird.

Auf das Schirmbrett kann man anstatt des weißen Kartons ein Stück Millimeterpapier heften, am besten jedoch hängt man das Bild mit einer Mattglasscheibe auf.

Die Vergrößerung ist für verschiedne Augen ungleich. Kurzsichtige Schüler müssen beim Versuch (o) ihre Brillen aufbehalten.

Vgl. über die Vergrößrung der Lupe auch: WINKELMANN, *Handb. d. Phys.*[2] *6, 328.* MÜLLER-POUILLET[10], *2, 1, 502.* v. ROHR, *Bilderzeugung in opt. Instr. 494.* v. ROHR, *Opt. Instr. 67.* GLEICHEN, *Leitf. d. prakt. Optik 99.*

15. Aufgabe. *Welche Gestalt hat das Bild eines Pfeils, das eine Sammellinse entwirft?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. HALL, *Descript. List 32 Nr. 24.*

Geräte. Linse (vgl. S. 279).
Gegenstand (vgl. S. 279).
Schirm (vgl. S. 279).
Maßstab, 30 cm lang.
Zeichenausrüstung.
Rollenpapier.
Reißnägel.
Messingdraht von 1 mm Durchmesser, rechtwinklig gebogen, der eine Schenkel 10 cm und der andere 6 cm lang.
Schere.
Klebwachs.

Anleitung. a) Hefte auf den Tisch einen Streifen Papier, der 1 m lang und 30 cm breit ist, derart, daß die Längsseiten gegen das Fenster gerichtet sind. Zeichne parallel der Schmalseite, die am weitesten vom Fenster abliegt, einen Pfeil c (Fig. 197), der 8 cm lang ist, teile ihn in vier gleiche Strecken, bezeichne ihre Endpunkte der Reihe nach mit 1, 2, 3, 4 und 5 und errichte auf dem Pfeil im Punkt 3 ein Lot d von $\sim$ 30 cm Länge. Befestige auf dem Schirmbrett ein weißes Blatt Papier, ziehe darauf

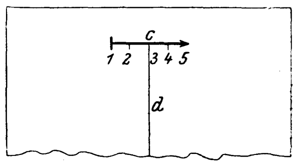

Fig. 197.

einen lotrechten Strich e (Fig. 198) und stelle das Papier so über den Pfeil, daß e genau über dem Teilstrich 3 steht. Lege das Linsenbrett so auf die schmale Kante, daß die Achse g der Linse mit d in einer Ebene liegt, die auf dem Papier senkrecht steht. Mache den Abstand der Linsenmitte von e $\sim$ 19 cm groß. Markiere nach der sorgfältigen Einstellung der Linse ihre Lage. Lege das Drahtnetzblech mit der langen Kante so auf das Papier, daß das Grundbrett senkrecht auf dem Papier steht, und befestige daran mit etwas Klebwachs einen rechtwinklig gebogenen Draht derart, daß dessen 10 cm langer Schenkel h loecht in der Ebene dg liegt und die Spitze dicht über d steht.

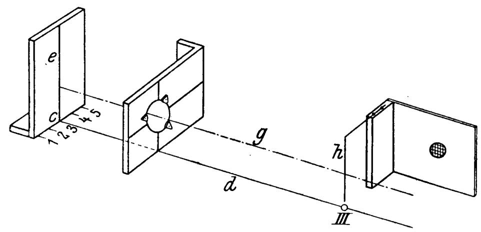

Fig. 198.

b) Stelle das Auge 20 bis 30 cm von h entfernt so in die Richtung der Linsenachse, daß du h deutlich siehst. Verschiebe nun den Draht h und bringe ihn nach dem „Abweichungsverfahren“ mit dem Bilde des Striches e zur Deckung. Mache, sobald h scharf eingestellt ist, genau unter seinem untern Ende einen Punkt und schreibe, da er mit dem Bilde von 3 zusammenfällt, III daran.

c) Verschiebe den Schirm längs c, stelle die Marke e der Reihe nach genau über die Punkte 1, 2, 4 und 5 und bestimme wie bei (b) die Lage ihrer Bilder I, II, IV und V.

d) Verbinde die Punkte I, II, III, IV und V durch eine Kurve. Was stellt die Linie angenähert dar? Ist das Bild, das eine Sammellinse von einer Geraden entwirft, wieder eine Gerade? Vergleiche die Richtungen des Pfeiles und seines Bildes miteinander. Verbinde die Punkte (1, 2, . . .) des Pfeiles mit ihren Bildern (I, II, . . .). Wo schneiden sich diese Geraden?

e) Hefte auf den Tisch einen Streifen Papier, der 50 cm lang und 30 cm breit ist. Zeichne darauf in $\sim$ 20 cm Abstand von der Schmalseite, die dem Fenster zugekehrt ist, einen Pfeil, der 4 cm lang ist, und teile ihn wie bei (a) in vier gleiche Strecken, deren Endpunkte 1, 2, 3, 4 und 5 sind. Stelle die Linse, die aus dem Brett herausgenommen worden ist, zwischen dem Pfeil c und der Schmalseite des Papiers, die dem Fenster zugekehrt ist, in $\sim$ 8 cm Abstand von c mit Klebwachs so auf, daß ihre Achse g über dem Lot d liegt, das im Punkt 3 auf dem Pfeil errichtet worden ist. Stelle ähnlich wie bei (a) ein niedriges Blatt mit einem lotrechten Strich über den Pfeil c und hinter dem Schirm einen niedrigen Klotz auf und befestige darauf den Draht so, daß der Schenkel h lotrecht nach oben gerichtet ist.

f) Sieh aus einer Entfernung von 20 bis 30 cm durch die

Linse nach dem Strich e und gleichzeitig über die Linse weg nach dem Draht h. Bewege das Brett, auf dem der Draht befestigt ist, und bringe nach dem „Abweichungsverfahren" h mit dem Bilde von e zur Deckung. Markiere mit einem Dreieck den Punkt des Papiers, der lotrecht unter h liegt, und bezeichne ihn mit III.

g) Verfahre wie bei (c) und (d).

Bemerkungen. Es ist ratsam, auf dem Brett, in dem die Linse sitzt, die Lage ihres Mittelpunktes so, wie es in Fig. 198 angedeutet ist, durch zwei rechtwinklig zueinander stehende Geraden festzulegen.

IV. Optische Instrumente.

16. Aufgabe. *Stelle ein astronomisches Fernrohr her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

1. Verfahren.

Literatur. Wilberforce-Fitzpatrick *2, 42 Nr. 1.*

Geräte. 2 Sammellinsen von 25 cm und 7,5 cm Brennweite.
2 Linsenhalter (vgl. Spiegelgalvanometer).
Rahmen aus Drahtgaze, lotrecht in einem Halter befestigt, oder Nadel auf Holzklotz (vgl. S. 274).
Millimeterstab.
Schirm der optischen Bank (vgl. S. 279).
Weißer Karton.
Dreieck.
Tusche.
Reißnägel.
Klebwachs oder gummiertes Papier.
Putzleder.

Anleitung. a) Halte den Millimeterstab wagerecht und mit dem einen Ende gegen ein Stück weißen Kartons (Schirm der optischen Bank) und richte das andere Ende gegen einen entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster. Halte die Linse in der Hand und bewege sie vom Schirm aus längs dem Maßstab, bis sie auf dem Schirm ein deutliches Bild des Gegenstandes entwirft. Die Entfernung zwischen Linse und Schirm ist nahezu gleich der Brennweite der Linse. Wiederhole diese Messungen mehrmals und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

b) Bestimme ebenso auch die Brennweite der andern Linse.

c) Trage die Ergebnisse in die folgende Tafel ein, wo f_1 die längere und f_2 die kürzere Brennweite bezeichnet.

Linse Nr. . . . und Nr. . . .

	f_1 cm	f_2 cm	Linsenabstand in cm	Vergrößerungszahl
Mittel	. . . . . .	. . . . . .	. . . .	. . . .

d) Berechne die Mittel der f_1 und f_2 und daraus $f_1 + f_2$ und $f_1/f_2 = \ldots$

e) Setze die Linse mit der längern Brennweite in einen Halter ein und richte sie nach einem entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster, der auf der Linsenachse liegt. Halte das Auge so, daß es durch die Linse ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes sieht. Bewege den Kopf und prüfe, ob sich das Bild in demselben oder in dem entgegengesetzten Sinn bewegt. Liegt das Bild auf derselben Seite wie das Auge? Fang es mit einem Stück Karton auf.

f) Stelle zwischen Auge und Linse die Drahtgaze (oder die Nadel) und bringe sie nach dem „Abweichungsverfahren" mit dem Bild zur Deckung. Setze, sobald dies geschehen, zwischen Auge und Gaze die andre Linse, halte das Auge dicht daran und bewege Auge und Linse, bis du ein scharfes Bild der Gaze siehst.

g) Miß die Abstände der Gaze von der vordern und der hintern Linse und vergleiche diese Größen und ihre Summe mit den Brennweiten f_1 und f_2 und deren Summe.

h) Nimm die Drahtgaze weg. *Fernrohr, Objektiv oder Vorderlinse, Okular oder Augenlinse.* Wie müssen die beiden Linsen zueinander stehen, damit die Strahlen aus der Augenlinse parallel austreten? Erscheint der Gegenstand, wenn man ihn durch dieses Fernrohr betrachtet, größer, als wenn man ihn mit unbewaffnetem Auge ansieht. Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt?

i) Wiederhole die Einstellungen und Messungen (e) bis (h) nochmals und miß den Abstand des Objektivs vom Okular. Trage die Ergebnisse in die Tafel ein, berechne den Mittelwert und vergleich ihn mit der Summe von den Mittelwerten der Brennweiten.

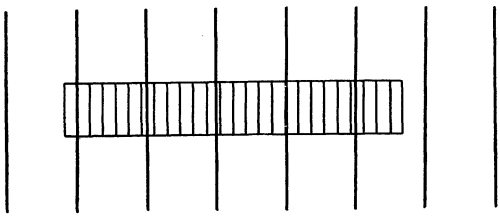

Fig. 199.

k) Schneid aus Karton einen Streifen (30 cm $\times$ 5 cm) und ziehe parallel den kurzen Seiten im Abstand 2,5 cm dicke schwarze Striche. Befestige an einer entfernten Wand den Streifen und stelle das Fernrohr darauf ein. Betrachte den Karton mit dem einen Auge durch das Fernrohr und gleichzeitig mit dem andern unbewaffneten Auge. Stelle die Augenlinse so, daß sich die beiden Bilder bei der Drehung der Augenachsen möglichst wenig gegeneinander verschieben. Drehe, wenn erforderlich, das Fernrohr ein wenig derart, daß sich die mit beiden Augen gesehenen Bilder decken. Gegenstand und Bild erscheinen wie in der Fig. 199. Laß einen Strich des Bildes mit einem Strich des Gegenstandes zusammenfallen. Zähle die Zwischenräume zwischen zwei Strichen des Bildes. Vermeide dabei, das Auge anzustrengen. *Vergrößerungszahl.*

l) Wiederhole die Bestimmung mehrmals.

m) Trage die Ergebnisse in die Tafel ein, bilde den Mittelwert und vergleiche ihn mit dem Wert f_1/f_2.

2. Verfahren.

Literatur. CREW-TATNALL *206 Nr. 93.*

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch ohne Linsenhalter, dazu 25 cm lange, innen geschwärzte, 1,5 mm starke Papprohre von 3,6 cm innerer Weite.
2 Bunsengestelle.

Anleitung. **n)** Verfahre wie bei (a) bis (d).

o) Befestige mit Klebwachs oder Streifen gummierten Papiers die Linse mit der längern Brennweite f_1 am einen Ende der Papprohre. Klemme die Röhre an einem Gestell fest und richte das Ende, das die Linse trägt, auf einen entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster. Setze die andre Linse in die Klemme eines zweiten Gestells und stelle sie vor dem hintern Ende der Röhre so auf, daß die Linsenachsen zusammenfallen. Halte das Auge in 4 bis 5 cm Abstand vor diese Linse und verschiebe das Gestell, bis du den entfernten Gegenstand deutlich siehst. *Fernrohr, Objektiv, Okular.*

p) Beantworte die in (h) gestellten Fragen.

q) Berichtige die Lage des Okulars, bis das Bild so scharf wie möglich erscheint. *Einstellen des Fernrohrs.* Stelle das Okular mehrmals ein und miß jedesmal den Abstand zwischen Objektiv und Okular. Trage die Ergebnisse wie bei (c) in die Tafel ein und berechne den Mittelwert. Vergleich ihn mit der Summe der Brennweiten.

r) Verfahre wie bei (k) bis (m).

Bemerkungen. Als Okular kann man einen Fadenzähler verwenden, den man beim ersten Verfahren auf einen Holzklotz oder dergleichen stellt und beim zweiten Verfahren an einem Gestell befestigt.

Beim zweiten Verfahren empfiehlt es sich nicht, die Augenlinse in einer Röhre zu befestigen, die sich in der Röhre des Objektivs verschieben läßt.

Die Bestimmung der Vergrößerungszahl bereitet den Schülern erhebliche Schwierigkeiten, weil sie oft nicht imstande sind, beide Augen der Sehweite richtig anzupassen. Vielen Schülern gelingt die Einstellung leichter, wenn sie dabei blinzeln. Kurzsichtige Schüler müssen ihre Brillen aufbehalten. Anstatt den Karton mit Strichen zu verwenden, kann man auf folgende Weise verfahren. Man läßt auf der Tafel zwei dicke wagerechte Striche im Abstand 7,5 bis 15 cm ziehen und aus möglichst großer Entfernung das Fernrohr darauf einstellen. Dann läßt man einen andern Schüler auf der Tafel die Stellen markieren, die bei der Betrachtung mit dem unbewaffneten Auge mit den Bildern der beiden Striche zusammenfallen, die man mit dem andern Auge durch das Fernrohr sieht.

17. Aufgabe. *Stelle ein Mikroskop her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

1. Verfahren.

Literatur. Wilberforce-Fitzpatrick *2, 42 Nr. 2.*

Geräte. 2 Sammellinsen von 2,5 bis 7,5 cm Brennweite.
2 Linsenhalter (vgl. Spiegelgalvanometer).
Millimeterteilung auf weißem Papier.
Bunsengestell.
Rahmen aus Drahtgaze oder Nadel auf Holzfuß (vgl. S. 274).

Anleitung. **a)** Stelle die Millimeterteilung wagerecht vor der einen Linse in deren Achse so auf, daß ein umgekehrtes und stark vergrößertes Bild entsteht, und bring es nach dem „Abweichungsverfahren" mit der Drahtgaze (oder der Nadel) zur Deckung.

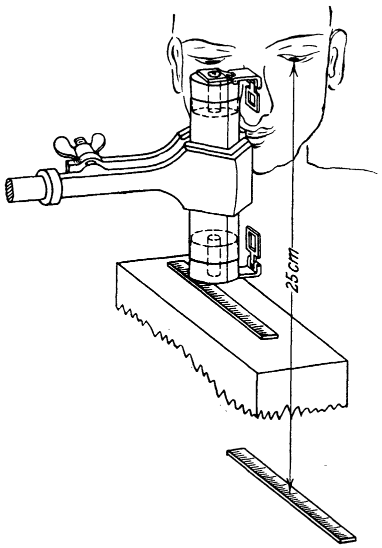

Fig. 200.

b) Benutze die andre Linse als Vergrößerungsglas und stelle sie wie bei Aufgabe 16 (f) so ein, daß du ein scharfes Bild der Gaze erblickst.

c) Miß den Abstand der Gaze von der vordern und der hintern Linse und den Abstand der Millimeterteilung von der vordern Linse.

d) Nimm die Gaze weg. Sieht man ein aufrechtes oder ein umgekehrtes Bild? Ist es verkleinert oder vergrößert? *Mikroskop, Objektiv, Okular.*

e) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mehrmals.

f) Nähere etwas dem Objektiv den Gegenstand. Wie muß man die Okularlinse verschieben, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten? Ist es stärker vergrößert als vorher?

2. Verfahren.

Literatur. Millikan-Gale *123 Nr. 49.*

Geräte. 2 Fadenzähler.
Röhre von 10 bis 12,5 cm Länge aus Pappe oder Weißblech.
2 Korke mit 1 cm weiten Durchbohrungen.
Bunsengestell.
2 Millimeterteilungen auf weißem Papier.
Kautschukband.
Holzklotz.

Anleitung. **g)** Setze in die Enden der Röhre die beiden Korke ein und befestige mit einem Kautschukband die Linsen der Fadenzähler über den Öffnungen (Fig. 200). Klemme die Röhre lotrecht über dem Tisch fest und stelle durch Heben oder Senken ein vergrößertes Bild der Millimeterteilung, die auf einem Holzklotz darunter liegt, scharf ein. Der Abstand des Tisches vom obern Ende der Röhre sei etwas größer als 25 cm.

h) Lege wie in der Figur eine zweite Millimeterteilung auf den Tisch und hebe sie so weit, daß der Abstand von dem Auge, das nicht durch das Mikroskop sieht, genau 25 cm wird. Betrachte gleichzeitig beide Teilungen, die eine durch das Miskroskop und die andre mit dem unbewaffneten Auge und bestimme, wieviel Millimeter des Maßstabes von einem Millimeter der Teilung unter dem Mikroskop bedeckt werden. *Vergrößerungszahl des Mikroskops.*

Bemerkung. Vgl. auch die bei Aufg. 14 S. 283 angegebnen Schriften.

V. Farbenzerstreuung.

18. Aufgabe. *Wie zerstreut ein Prisma das Licht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Glazebrook *178 Nr. 29 u. 30.* Wilberforce-Fitzpatrick *2, 44 Nr. 5.* Watson, *Elem. Pract. Phys. 143 Nr. 112.* Crew-Tatnall *197 Nr. 89.* Millikan-Gale *124 Nr. 50.*

Geräte. Schwalbenschwanzbrenner.
Gasschlauch.
2 gleiche Prismen.
Blende aus schwarzem Blech mit einem lotrechten Spalt von 1 bis 2 cm Länge und 1 bis 2 mm Breite.
Weißer Schirm (vgl. S. 279).
Holzklotz.
Rechtecke (16 cm × 3 cm) aus 3 mm starkem rotem und blauem Glas.
Schwarzer Karton.
Weißer Karton.
Rot- und Blaustift.
Mattes weißes, rotes, gelbes, grünes, violettes und schwarzes Papier.
Schere.
Gummi arabicum.

Anleitung. **a)** Halte das Prisma in das direkte Sonnenlicht und wirf die Strahlen nach einem beschatteten Teil des Fußbodens. Halte zwischen die Sonne und das Prisma ein Stück schwarzen Karton, in den ein Spalt von 2 bis 3 mm Breite geschnitten ist. Wieviel Farben kann man unterscheiden? Welche Farbe wird am wenigsten und welche am meisten abgelenkt, d. h. welche Farbe liegt der brechenden Kante am nächsten und welche Farbe ist am weitesten davon entfernt? Vergleiche die Breite des Spaltes mit der Breite des Farbenbandes. *Spektrum.*

b) Schneid in ein andres Stück schwarzen Karton zwei Spalte von 2 mm Breite, die 2 mm voneinander abstehen. Verdecke den einen Spalt und beschreibe das Spektrum. Decke den Spalt auf und beschreibe die Farbenänderung in der Mitte des Lichtfleckes, wo beide Spektren sich übereinander lagern. Vereinigen sich etwa hier die Spektralfarben zu Weiß?

c) Halte das Prisma ohne Blende in die Sonnenstrahlen. Warum sind nur die Ränder des Lichtflecks und nicht die Mitte gefärbt?

d) Stelle einen Schwalbenschwanzbrenner so auf, daß der schmale Rand der Flamme dem Auge zugekehrt ist. Betrachte aus 2 bis 3 m Entfernung die Flamme. Halte das Prisma vor das rechte Auge und wende die brechende Kante gegen die Nase. Nach welcher Seite muß man durch das Prisma sehen, damit man das Bild der Flamme erblickt? Wie ist das Bild gefärbt? Welche Farbe liegt am weitesten nach rechts und welche am weitesten nach links? Welche Farben liegen dazwischen?

e) Betrachte einen breiten Streifen weißes Papier durch das Prisma. Wie ist der eine und wie der gegenüberliegende Rand gefärbt? Warum ist das Papier in der Mitte weiß? Warum sind die gegenüberliegenden Ränder verschieden gefärbt?

f) Schneid aus weißem Karton einen Streifen von ~ 5 cm Länge und ~ 2,5 cm Breite aus und ziehe darauf parallel zu den Längsseiten zwei Striche, einen roten und einen blauen. Die Striche sollen nicht breiter als 1 mm sein und so dicht aneinander liegen, daß dazwischen der weiße Karton nicht zu sehen ist. Biege die Karte in der Mitte rechtwinklig um, damit man sie derart aufrecht stellen kann, daß die farbigen Striche lotrecht stehen.

g) Stelle das Prisma so auf den Tisch, daß die brechende Kante nach rechts gekehrt ist und setze in einem Abstand von ~ 15 cm die Karte so auf den Tisch, daß die Fläche mit den Strichen gegen das Prisma gekehrt ist und der rote Strich links liegt. Betrachte durch das Prisma die farbigen Striche. Welcher liegt links? Sind die beiden Bilder so breit wie die Striche?

h) Kehre die Karte so um, daß nun der rote Strich rechts liegt, und betrachte sie durch das Prisma. Welches Bild liegt rechts? Lenkt das Prisma die roten und die blauen Strahlen gleich stark ab?

i) Ziehe mit einem Bleistift einen 12 bis 15 cm langen Strich auf einem Blatt aus mattschwarzem Papier. Schneid aus rotem, gelbem, grünem, blauem, violettem und weißem Papier ~ 2 cm lange und 0,2 cm breite Streifchen. Klebe sie längs dem Bleistrich hintereinander so auf das schwarze Papier, daß sie einen zusammenhängenden 2 mm breiten Streifen bilden. Halte das Prisma dicht vor das Auge und mit der brechenden Kante parallel dem Streifen und drehe das Glas, bis du diesen siehst. Liegen die Bilder der Streifchen auch in einer Geraden? Ordne die Streifchen nach ihrem scheinbaren Abstand von der brechenden Kante. Werden Strahlen verschiedener Farbe beim Durchgang durch ein Prisma gleich stark abgelenkt? Welche werden am meisten und welche am wenigsten abgelenkt? Wirft jedes Papier nur eine einzige Farbe zurück? Ist z. B. im roten Papier etwas Blau und im gelben etwas Grün enthalten? Wieviel

Farben kannst du im weißen Papier entdecken? Ist das Weiß vielleicht eine Mischung aller andern Farben?

k) Stelle im verdunkelten Zimmer eine Flamme dicht hinter eine Blende mit lotrechtem Spalt. Drehe, wenn die Flamme flach ist, den schmalen Rand gegen den Spalt. Stelle nicht weit davon einen weißen Schirm auf und laß das Licht darauf fallen. Setze in der Höhe des Spaltes das Prisma so auf einen Holzklotz, daß die brechende Kante dem Spalt parallel steht und das Lichtbündel auf die Mitte der einen Prismenfläche fällt. Prüfe dies mit einem weißen Papierstück. In welcher Richtung werden die Strahlen abgelenkt? Fange sie mit dem Schirm auf. Ist der Lichtfleck breiter als der Spalt? Welche Farben zeigt er? Drehe das Prisma langsam so, daß sich das rote Ende des Spektrums auf die Stelle hinbewegt, wo vorher der nicht abgelenkte weiße Lichtfleck lag. Hört bei einer bestimmten Stellung des Prismas die Bewegung des Spektrums in diesem Sinn auf? Bewege das Prisma in demselben Sinn wie vorher weiter. Wie bewegt sich nun das rote Ende des Spektrums? *Minimum der Ablenkung.* Stelle jetzt und bei allen künftigen Versuchen das Prisma so, daß die kleinste Ablenkung stattfindet. Rücke den Schirm so, daß das Spektrum möglichst scharf wird.

l) Welche Farbe hat das Licht, ehe es in das Prisma eintritt? Welche Farben zeigt es nach dem Durchgang durch das Prisma? Fahre mit einem Streifen aus schwarzem Karton längs der Prismenfläche, wodurch das Licht eintritt, hin und her. Wie verschiebt sich das Spektrum? Erzeugen die verschiedenen Stellen der Prismenfläche an verschiedenen Stellen des Schirmes farbige Bänder? Lagern sich, wenn die ganze Prismenfläche benutzt wird, die Streifen auf dem Schirm übereinander? Verkleinere mit dem Kartonstreifen die Breite des Spaltes. Fahre mit dem Kartonstreifen längs der Prismenfläche, woraus das Licht austritt, hin und her. Wie läßt sich die bandartige Verbreiterung des Lichtfleckes auf dem Schirm erklären? Welche Strahlen werden am wenigsten und welche am stärksten abgelenkt?

m) Halte vor den Spalt eine rote Glasscheibe. Welche Strahlen gehen hindurch? Wie ist der Lichtfleck gefärbt? Wiederhole den Versuch mit einer blauen Glasscheibe. Welches Licht wird am stärksten abgelenkt?

n) Nimm die blaue Glasscheibe weg und setze dicht hinter das Prisma ein andres Prisma in die Stellung der geringsten Abweichung und zwar so, daß die brechenden Kanten beider Prismen parallel laufen und nach derselben Seite gekehrt sind. Wo liegt jetzt das Spektrum auf dem Schirm? Wird die Zerstreuung des Lichtes vergrößert?

o) Entferne das zweite Prisma etwas von dem ersten und drehe es dann so, daß seine Kanten die des ersten rechtwinklig kreuzen, also wagerecht liegen. Wie lenkt das zweite Prisma die Strahlen ab, die aus dem ersten austreten? Wie liegt jetzt das Spektrum auf dem Schirm? Welche Strahlen werden am stärksten abgelenkt?

p) Nimm das zweite Prisma in die Hand, halte die brechende Kante wagerecht und betrachte das wagerecht liegende Spektrum, das das erste Prisma auf dem Schirm entwirft. Vergleiche das Ergebnis mit dem des vorigen Versuchs.

q) Bringe beide Prismen wieder in die Stellungen, die sie bei dem Versuch (n) hatten, doch vergrößere ihren Abstand. Halte vor die Fläche des zweiten Prismas einen schwarzen Kartonstreifen, worin ein Spalt von 1 mm Breite geschnitten ist. Drehe das erste Prisma und laß der Reihe nach die roten, gelben usw. Strahlen auf den Spalt fallen und fange die Strahlen, die aus dem zweiten Prisma austreten, mit dem Schirm auf. Zerlegt das zweite Prisma die farbigen Strahlen noch weiter?

Bemerkungen. Anstatt des Schwalbenschwanzbrenners und der Blende mit dem Spalt kann man im Notfall auch den Auerbrenner von Aufgabe 24 benutzen.

Das Prisma, das bei Aufgabe 7 verwandt wurde, ist für die Versuche (k) bis (q) zu klein und seine Zerstreuung zu gering; doch lassen sich damit diese schwierigen Versuche gut ausführen, wenn man das Verfahren anwendet, das in Aufgabe 22 (a) beschrieben wird.

19. Aufgabe. *Lassen sich die Farben, in die weißes Licht durch ein Prisma zerlegt wird, wieder zu Weiß vereinigen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. GLAZEBROOK *181 Nr. 31.*

Geräte. Schwalbenschwanzbrenner. Gasschlauch. 2 gleiche Prismen. Blende (vgl. S. 291). Weißer Schirm (vgl. S. 279). Holzklotz. Schwarzer Karton. Schere.

Anleitung. a) Entwirf wie bei Aufgabe 18 (k) auf dem Schirm ein Spektrum. Stelle dicht hinter das Prisma ein andres Prisma derart, daß die Kanten und die einander zugekehrten Flächen parallel laufen und die brechenden Kanten nach verschiedenen Seiten gewandt sind. Ist auf dem Schirm ein Spektrum zu sehen? Wie wirkt das zweite Prisma auf die zerlegten Strahlen ein, die aus dem ersten Prisma austreten? Als was kann man die Gesamtheit der beiden Prismen auffassen?

b) Fahre mit einem schmalen Kartonstreifen zwischen den beiden Prismen hin und her. Sind die Bilder, die die Reststrahlen erzeugen, gefärbt?

c) Nimm das zweite Prisma weg und betrachte dadurch aus einem Abstand, der gleich dem Abstand des ersten Prismas vom Schirm ist, das Spektrum, das das erste Prisma entwirft. Halte dabei die brechende Kante des zweiten Prismas parallel zu der des ersten. Drehe die brechende Kante des zweiten Prismas nach derselben Seite wie die des ersten. Wie ändert sich die Länge des

Spektrums? Addieren sich die Ablenkungen? Drehe die brechende Kante des zweiten Prismas nach der entgegengesetzten Seite. Addieren sich auch hier für jede Strahlenart die beiden Ablenkungen, oder heben sie sich gegenseitig auf?

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 18.

20. Aufgabe. *Hat eine Sammellinse für rotes und blaues Licht die gleiche Brennweite?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Glazebrook *191 Nr. 32.*

Geräte. Pappe. Mattes rotes Papier. Mattes blaues Papier. Schere. Gummi arabicum. Schwarzes Garn. | Lampe. Blaues Glas. Rotes Glas. Bunsengestell. Die Ausrüstung wie bei Aufgabe 11, S. 275.

Anleitung. a) Bekleb ein Stück Pappe zur Hälfte mit blauem und zur Hälfte mit rotem Papier und binde quer einen schwarzen Faden darum. Beleuchte die Scheibe mit einer Lampe und versuche mit einer Sammellinse ein scharfes Bild des Fadens auf einem Schirm zu entwerfen. Stelle zunächst den Faden auf dem blauen Feld scharf ein. Sieh nach, ob jetzt das Bild des Fadens auf dem roten Felde verschwommen ist. Entferne den Schirm ein klein wenig von der Linse und stelle den Faden auf dem roten Hintergrund scharf ein. Prüfe, ob nun das Bild des Fadens auf dem blauen Hintergrund verschwommen wird. Vereinigt die Linse rote und blaue Strahlen an derselben Stelle?

b) Entwirf mit der Linse ein scharfes Bild eines bedruckten Papiers auf dem Schirm. Stelle vor die Lampe ein rotes Glas und beleuchte so das Papier mit rotem Licht. Ist das Bild auf dem Schirm noch scharf? Stell es ganz scharf ein. Ersetze das rote Glas durch ein blaues. Bleibt das Bild auf dem Schirm scharf? Nähere den Schirm der Linse und stelle das Bild wieder scharf ein.

c) Stelle zwischen die Lichtquelle und das Drahtnetz eine rote Glasscheibe und bestimme wie in Aufgabe 11 (l) bis (n) nach dem Verfahren von Bessel die Brennweite der Linse.

d) Bestimm ebenso die Brennweite der Linse für blaues Licht. Ist die Brennweite für rotes oder für blaues Licht länger?

21. Aufgabe. *Untersuche mit dem Prisma verschiedene Körper, die Licht aussenden oder verschlucken.*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Crew-Tatnall *210 Nr. 94.*

Geräte. Glasprisma (vgl. Aufg. 7). Bunsenbrenner. | Gasschlauch. Schirm mit Spalt.

Geräte.

Dickes weißes Fließpapier oder Asbestpapier.	4 Probiergläser, die in Bechergläsern stehen.
Schere.	Fettstift oder gummiertes Papier.
Glühlampe.	Rotes und blaues Glas.
Natriumchlorid.	Stricknadel.
Natriumbikarbonat.	Putzleder.
Lithiumchlorid.	
Thallosulfat.	

Anleitung. **a)** Laß den Mitarbeiter aus dem Fließpapier Streifen (10 cm $\times$ 1 cm) schneiden, das eine Ende eines Streifens entzünden, sofort die Flamme ausblasen und durch schwaches Blasen das glimmende Ende dauernd in Glut erhalten. *Rotglühender fester Körper (Kohle).* Halte das Prisma mit der brechenden Kante lotrecht dicht vor das Auge und betrachte das rotglühende Papierende aus 1 bis 3 m Entfernung. Ist das Bild so breit wie der Gegenstand? Welche Farben beobachtet man durch das Prisma? Welche Farbe ist von der brechenden Kante am wenigsten und welche am meisten entfernt? Betrachte durch das Prisma den Faden einer brennenden Glühlampe. Welche Farben sendet glühende feste Kohle aus?

b) Stelle hinter den Spalt des Eisenschirms eine leuchtende Bunsenflamme oder eine brennende Kerze. Halte die brechende Kante des Prismas parallel zum Spalt. Vergleiche das Spektrum mit jenem der festen Kohle (a). Enthält dieses einige Farben, die in dem Spektrum der leuchtenden Gasflamme fehlen? Welcher Stoff ist vermutlich in der Flamme enthalten?

c) Öffne das Luftloch des Bunsenbrenners und untersuche mit dem Prisma die nicht leuchtende Flamme. Welche Farben sind am hellsten? Welche Farben fehlen?

d) Laß den Mitarbeiter in einem Probierglas eine Kochsalzlösung herstellen, einen Streifen Fließpapier oder Asbestpapier, worauf er, ebenso wie auf das Probierglas, NaCl geschrieben hat, damit befeuchten und dessen Ende in den untern Teil der nichtleuchtenden Flamme halten. Untersuche diese mit dem Prisma. Welche Farbe überwiegt alle andern? Man muß den Streifen so stark befeuchten, daß er sich nicht entzündet.

e) Laß den Mitarbeiter einen andern Streifen, auf den er $NaHCO_3$ geschrieben hat, mit einer Natriumbikarbonatlösung befeuchten. Welche Farbe wiegt, sobald der Streifen die Flamme berührt, im Spektrum stark vor? Welcher Bestandteil ist in beiden Stoffen enthalten? Welche Farbe liefern beide?

f) Laß, während du die Bunsenflamme mit dem Prisma betrachtest, den Mitarbeiter den Brenner $\sim$ 1 cm hoch heben und dann niederstoßen, so daß etwas Staub in die Flamme fliegt. Welche Farbe blitzt auf? Welcher Stoff ist also in dem Staub enthalten?

g) Laß den Mitarbeiter einen dritten Streifen Fließpapier, auf den er LiCl geschrieben hat, mit einer schwachen Lösung von Lithiumchlorid (erbsengroßes Stück) befeuchten und das Ende des Streifens in den untern Teil der Bunsenflamme halten. Welche Farbe überwiegt?

h) Wiederhole den Versuch (g) mit Thallosulfat. Ein Stück, so groß wie ein Nadelkopf, in einem Fingerhut voll Wasser gelöst, reicht völlig für den Versuch aus. Auf den vierten Streifen ist Tl_2SO_4 zu schreiben. Welche Farbe wiegt neben dem allgegenwärtigen Gelb vor?

i) Laß den Mitarbeiter einen einzigen, je zwei oder alle drei Streifen in die Flamme halten, ohne daß du weißt, welchen oder wieviele er nimmt. Kannst du sagen, welche Stoffe er benutzt? *Spektralanalyse.*

k) Laß den Mitarbeiter die Bunsenflamme leuchtend machen und den roten Glasstreifen dicht vor den Spalt halten. Welche Farben des gewöhnlichen Spektrums verschwinden? Wiederhole den Versuch mit dem blauen Glas. Welche Farben sind ausgelöscht? Laß beide Gläser aufeinander legen und vor den Spalt halten. *Kontinuierliches Spektrum. Absorptionsspektrum.*

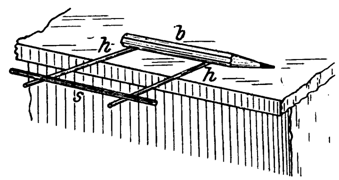

Fig. 201.

l) Leg auf das Fensterbrett zwei Holzstäbchen *h* (Fig. 201) und quer darüber hinten einen Bleistift *b* und vorn in den hellen Sonnenschein eine glänzende Stricknadel *s*. Stelle dich mindestens 120 cm davon entfernt auf, halte die Kante des Prismas parallel zur Nadel und betrachte sie durch das Prisma. Wieviel schwarze Linien siehst du und in welchen Farben liegen sie? *Fraunhofersche Linien.*

Bemerkungen. Der Schirm mit Spalt ist ein Quadrat (30 cm × 30 cm) aus schwarzem Eisenblech, worin ein 15 cm langer und 0,3 cm breiter Schlitz längs der einen Mittellinie vom Rand aus eingeschnitten ist; über das obere Ende des Spaltes ist ein kleiner Blechstreifen gelötet, und der Schirm schwach zylindrisch um eine dem Spalt parallele Achse gebogen (Fig. 202).

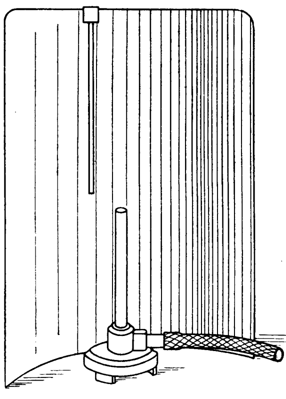
Fig. 202.

30 gr Lithiumchlorid und 5 gr Thallosulfat reichen für viele Jahre aus. Die Streifen und die Probiergläser mit den Lösungen sind sorgfältig zu bezeichnen.

Bei Versuch (l) benutzte ich früher einen Streifen von 3 mm Breite aus weißem Fließpapier oder Karton, der auf ein Stück mattschwarzes Tuch (60 cm × 60 cm) in den Sonnenschein gelegt wurde. Der Versuch gelang mit den hier benutzten Prismen nicht. Den neuen Ersatz für den beleuchteten Spalt verdanke ich einer liebenswürdigen Mitteilung meines Kollegen Dr. R. Maurer zu Eberbach in Baden.

22. Aufgabe. *Wie ist ein Spektroskop eingerichtet?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Wilberforce-Fitzpatrick *2, 46 Nr. 6.*

Geräte. Wie bei Aufgabe 19, S. 294, dazu:
2 Sammellinsen von 15 cm Brennweite.
Sammellinse von 5 cm Brennweite oder Fadenzähler.
3 Linsenhalter.
Schirm aus Drahtgaze oder dergleichen (vgl. S. 287).

Anleitung. **a)** Stelle in 30 cm (= 2f) Abstand vom Spalt eine Sammellinse von 15 cm Brennweite auf und entwirf damit ein scharfes Bild des Spaltes auf dem Schirm. Stelle zwischen Linse und Schirm, und zwar möglichst nahe der Linse, das Prisma auf. Fange vor dem Prisma das Lichtbündel mit einem weißen Papierstück auf und prüfe, ob es richtig auf das Prisma fällt. Verschiebe, wenn nötig, den Schirm und fange damit das Spektrum auf. Drehe das Prisma wie in Aufgabe 18 (k) so, daß das Spektrum vom ursprünglichen Spaltbild den kleinsten Abstand hat. Bewege dann den Schirm ein wenig nach vorn oder hinten, damit das Spektrum so hell wie möglich wird und der obere und untere Rand ganz scharf eingestellt sind.

b) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgaben 18 und 19.

c) Nähere dem Spalt die Linse auf 15 cm (= f). Bei dieser Stellung entwirft die Linse auf dem sehr weit entfernten Schirm ein scharfes Bild des Spaltes. Das Zimmer muß man dabei verdunkeln oder wenigstens den Schirm beschatten. Stelle dicht hinter die Linse das Prisma und prüfe wieder mit einem Stück Papier, ob das Licht richtig eintritt. Stelle die andre Linse von 15 cm Brennweite so auf, daß das Spektrum darauf fällt, und prüfe dies mit einem Stück Papier. Drehe wie vorher das Prisma in die Stellung der kleinsten Ablenkung und verschiebe den Schirm, bis die größte Schärfe des Spektrums auch am obern und untern Rande erreicht ist.

d) Ersetze den Schirm durch den Drahtgazerahmen. Stelle auf der entgegengesetzten Seite die Linse mit kurzer Brennweite, die als Lupe dient, oder einen Fadenzähler auf die Gaze ein. Entferne die Gaze. Wie ist das Spektrum beschaffen, das man durch diese Vorrichtung sieht? *Spektroskop.*

e) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgabe 21.

Bemerkungen. Einfache Vorrichtungen zur Erläuterung des Spektroskops findet man bei Schuster-Lees, *Intermed. Course 146 Nr. 28.* John Le May, *School Science 2, 32; 1902.* E. Grimsehl, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 202; 1904.*

VI. Beugung und Interferenz.

23. Aufgabe. *Wie verhält sich Licht beim Durchgang durch enge Öffnungen?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Crew-Tatnall *186 Nr. 84.*

Geräte. Argandbrenner.
Rote Glasplatte (vgl. Aufgabe 18).
Bunsengestell.
Postkarten.
Schere.
Stanniol oder Schablonenmessing.
Stecknadeln.

Anleitung. **a)** Befestige vor der runden Öffnung die rote Glasscheibe. *Leuchtender Punkt.* Mache mit einem scharfen Taschenmesser oder einer Schere einen Schnitt in den Rand einer Postkarte. Halte die Postkarte dicht vor das Auge und sieh durch den Schlitz nach dem ~ 1,50 bis 3 m entfernten kleinen Loch des Schornsteins. Erscheint die Öffnung kreisförmig? Zeichne das Bild des Lochs, wie du es beim Betrachten durch den Kartenschlitz siehst.

b) Drehe dicht vor dem Auge den Schlitz um den Lichtstrahl als Achse und betrachte den leuchtenden Punkt. Dreht sich das Bild mit dem Schlitz?

c) Schaue durch den Schlitz und ändere während des Durchsehens durch schwaches Auseinanderziehen oder Zusammenschieben der Ränder seine Breite. Wird das Bild breiter oder schmäler, wenn man den Schlitz breiter macht?

d) Drehe die Lampe um, so daß jetzt der Spalt dir zugekehrt ist. Halte die Karte dicht vor das Auge und den Schlitz parallel zum Spalt. Wie sieht das Bild aus? Halte den Schlitz rechtwinklig zum Schornsteinspalt. Wie sieht jetzt das Bild aus?

e) Mach eine Zeichnung, die die Richtungsänderung der Strahlen beim Durchgang durch einen engen Spalt darstellt. *Beugung. Wellentheorie.*

f) Mach in eine Postkarte oder noch besser in ein Stück Stanniol oder Schablonenmessing drei Nadelstiche, den einen so fein wie möglich, den andern von der größten Dicke der Nadel und den dritten von einer mittlern Weite. Betrachte der Reihe nach durch diese Löcher den leuchtenden Punkt. Durch welche Öffnung sieht die Lichtquelle am kleinsten und durch welche am größten aus?

Bemerkungen. Bei dem Argandbrenner ist die Höhe der durchlochten Deckplatte über dem Tisch 19 cm. Er ist mit Gasregulierung und 15 cm hohem Schornstein aus Schwarzblech versehen, darin ist in 6,5 cm Höhe ein 2 mm weites Loch und diesem gegenüber ein Längsspalt (1,7 cm $\times$ 1 mm) angebracht.

24. Aufgabe. *Kann man durch die Vereinigung zweier Strahlenbündel, die von derselben Lichtquelle ausgehen, Dunkelheit erzeugen?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Literatur. Crew-Tatnall *186 Nr. 84.*

Geräte. Argandlampe, wie in Aufgabe 23.
Rechteckige Stücke (4,5 cm $\times$ 3,2 cm) einer Diapositivplatte.
Kleines Lineal.

Anleitung. **a)** Schneide mit einem scharfen Messer längs einem Lineal (dies fest aufdrücken) zwei feine parallele Striche, die nicht weiter als 0,03 cm voneinander abstehen, in die Schicht der photographischen Platte. Betrachte durch das Spaltpaar den Spalt der Lampe. Wieviel Strahlenbündel gelangen in das Auge? Gehen sie von derselben Lichtquelle aus? Wie ändern sie beim Durchgang durch die beiden engen Spalte ihre Gestalt? Was erzeugen die beiden sich durchdringenden Strahlenbündel auf der Netzhaut des Auges? *Interferenz.*

b) Zieh auf der Schicht ein andres Paar feiner paralleler Striche, die etwas enger als die vorigen zusammenstehen. Ändert dies den Abstand der hellen Streifen im Bilde?

c) Zieh ein drittes Paar Striche, die etwas weiter voneinander entfernt als die des ersten Paares sind. Welchen Einfluß hat dies auf den Abstand der hellen Streifen im Bilde?

25. Aufgabe. *Wie groß ist die Wellenlänge des Natriumlichtes?*
(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. H. O. G. Ellinger, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 16, 280; 1903.* C. F. Adams, *School Science 3, 509; 1904.*

Geräte. Auerbrenner.
Gasschlauch.
3 Meterstäbe.
Bunsengestell.
Schwarzer Karton.
Asbestpapier.
Schere.
Beugungsgitter.
Halter für das Gitter.
Gesättigte Lösung von Natriumnitrat.

Anleitung. a) Stell am Seitenrand des Tisches das Gitter so auf, daß seine Öffnungen lotrecht stehen. Tränke das Asbestpapier mit der Lösung von Natriumnitrat, wickle es um den Einsatzstift des

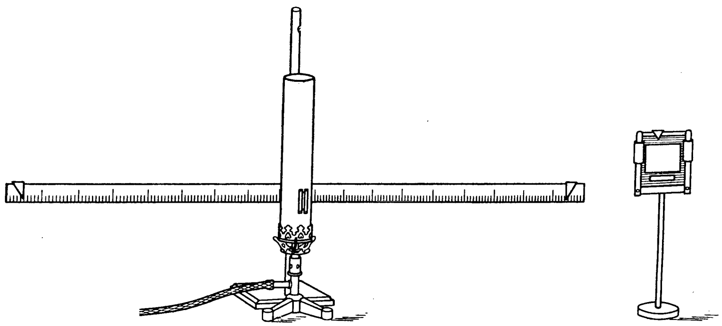

Fig. 203.

Brenners und setze dann den Blechzylinder auf. Stelle in ~ 1,30 m Abstand vom Gitter die Lampe so auf den Tisch, daß der Spalt dem Gitter zugekehrt ist und in einer lotrechten Ebene liegt, die durch die Mitte des Gitters geht. Man achte dabei darauf, daß die Gitteröffnungen parallel zum Spalt liegen. Den Abstand des Gitters von der Lampe wähle man so groß, daß die Beugungsbilder ungefähr auf die Enden des Maßstabes fallen. Klemme dicht hinter der Lampe einen Meterstab wagerecht derart fest, daß seine geteilte Fläche parallel zur Gitterfläche steht (Fig. 203). Setze auf die Mitte des obern Gitterrandes einen kleinen Reiter aus schwarzem Karton (Fig. 204 I) und auf den Maßstab rechts und links von der Lampe je einen Reiter aus schwarzem Karton von der in Fig. 204 II abgebildeten Gestalt.

b) Verdunkle das Zimmer so weit, daß man die Reiter auf dem Maßstab noch deutlich erkennen kann. Laß den Mitarbeiter die Lampe anzünden. Sieh an der Stelle, die durch den Reiter markiert ist, schräg durch das Gitter nach dem ersten Beugungsbild rechts von der Lampe. Laß den Mitarbeiter den rechten Reiter auf dem Maßstab so weit verschieben, daß die Kante AB mit der Mitte des Beugungsbildes zusammenfällt. Stelle dann ebenso den linken Reiter auf dem Maßstab auf das erste Beugungsbild links von der Lampe ein. Laß die Lampe ausdrehen.

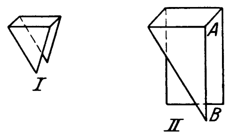

Fig. 204.

c) Lies, sobald das Zimmer wieder hell gemacht worden ist, sorgfältig die Stellungen der Reiter auf dem wagerechten Maßstab ab und miß mit zwei aufeinander gelegten Maßstäben die Entfernungen E_1 und E_2 cm der Gittermarkenspitze von den Rändern AB der Maßstabreiter.

d) Berechne aus den Stellungen der Maßstabreiter den Abstand l cm der beiden Beugungsbilder und daraus die Verschiebung des Spaltbildes $e = {}^1/_2\, l$, ferner den Sinus des Winkels δ, den die Richtungen nach den Beugungsbildern mit der Verbindungsgeraden von Gittermitte und Spalt bilden, $\sin \delta = e/E$. Frage den Lehrer, wie groß die *Gitterkonstante* b, die Breite der Gitteröffnungen, ist, und bestimme dann mit der Formel $\lambda = b \sin \delta$ die Wellenlänge des Natriumlichtes.

e) Wiederhole die Einstellungen und Messungen viermal und berechne den Mittelwert der Länge λ.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Gitter Nr. . . . Gitterkonstante $b = . . .$ mm.

Reiterstellung		Abstand der Beugungsbilder	Abstand des Beugungsbildes vom Spalt	Abstand (E cm) der Gittermitte von den Beugungsbildern			$\sin \delta = e/E$	$\lambda = b \sin \delta$
rechts cm	links cm	l cm	$e = {}^1/_2\, l$	rechts	links	Mittel		
							Mittel	. . . . . .

Bemerkungen. Adams stellt die Lampe auf folgende Weise her: Er schraubt auf die Grundplatte eines gewöhnlichen Bunsenbrenners einen Auerbrenner (ohne Strumpf) und wickelt um den Strumpfträger Asbestpapier, das er zuvor mit einer gesättigten Lösung von Natriumnitrat in Wasser getränkt hat. Auf die Brennerfassung stellt er einen Zylinder aus Eisenblech, in den ein lotrechter Spalt von 2,5 cm Länge und 1 mm Breite sauber eingeschnitten ist.

Über andere Verfahren zur Herstellung von Licht, das eine bestimmte Wellenlänge hat, vgl. Kohlrausch[10] *249* und Luther-Ostwald *231*.

Benutzt man Gitter mit größerer Konstante, so kann man noch den Abstand l' der zweiten Beugungsbilder messen und auch daraus $e = \frac{1}{4} l'$ berechnen.

Ellinger benutzte ein Gitter von der Konstanten 0,006 mm, Adams eines von der Konstanten 0,00849. In den praktischen Kursen in der Alten Urania wurden ausgezeichnete und billige Wallacesche Kopien von Rowland-Gittern benutzt, deren Konstanten 0,00169 und 0,00168 mm waren. Diese Gitter sind von der Central Scientific Co. zu Chicago, 14—28 Michigan Street, bezogen worden.

Über weitere einfache Versuche aus der physikalischen Optik vgl. G. Quincke, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 7, 57; 1893* und E. Grimsehl, *Ausgewählte physikalische Schülerübungen, Leipzig, Teubner, 1906.*

Neunter Teil.

Magnetismus.

I. Coulombs Gesetz.

1. Aufgabe. *Hängt die Wechselwirkung zwischen zwei Magnetpolen von ihrer Entfernung und von ihren Stärken ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

1. Verfahren.

Geräte.

Magnetometer.	Wasserwage.
Magnetstab von 50 cm Länge und 0,25 cm Durchmesser, mit markierten Polen.	Millimeterpapier.
	Korkunterlagen.
	Spiegelglasstreifen.

Anleitung. a) Coulomb[1]) hat aus seinen Versuchen geschlossen, „daß die anziehende und abstoßende Kraft des magnetischen Fluidums in geradem Verhältnis zu den Dichtigkeiten und in umgekehrtem Verhältnis zum Quadrat der Abstände der magnetischen Moleküle stehe". Wir nehmen an, um die Fernwirkungen eines Magnetstabes zu beschreiben, daß die beiden Magnetismen in zwei Punkten, den Fernpolen, oder kurz Polen, verdichtet seien, und bezeichnen die Menge des Magnetismus oder die Stärke des Magnetpols mit $\mathfrak{m}$. Zwischen zwei gleichnamigen Polen von den Stärken $\mathfrak{m}$ und $\mathfrak{m}'$, die r cm voneinander abstehen, würde nach Coulomb die abstoßende Kraft $F = \mathfrak{m}\mathfrak{m}'/r^2$ wirken. Wir benutzen, um dieses Gesetz zu prüfen, einen so langen Magnetstab, daß bei geeigneter Stellung nur die Wirkung des einen Pols zu berücksichtigen ist, die des andern aber vernachlässigt werden darf, und verwenden ferner eine kurze Magnetnadel, die sich auf einer Spitze in einer wagerechten Ebene frei bewegen kann. Sind $\mathfrak{m}$ die Stärke des wirklichen Stabpols, $\pm \mathfrak{m}'$ die Stärken der beiden Nadelpole und $\mathfrak{l}'$ der Abstand der beiden Nadelpole, und halten wir den Nordpol $\mathfrak{m}$ des Stabes so weit von der Nadel entfernt,

---

[1]) *Vier Abhandlungen über die Elektrizität und den Magnetismus von* Coulomb. Ostwalds *Klassiker d. exakten Wissenschaft 13, 42.* Vgl. dazu Du Bois, *Magn. Kreise 30, 340 u. 342.* Cohn, *Elektromagn. Feld 176.*

daß wir seine Abstände r von den Polen und der Mitte der Nadel als gleich ansehen dürfen, so stößt er den Nordpol der Nadel mit der Kraft $F = \mathfrak{m}\mathfrak{m}'/r^2$ ab und zieht ihren Südpol mit der Kraft $-F$ an. Ferner wirkt auf die beiden Nadelpole der Erdmagnetismus mit den beiden Kräften $\pm\,\mathfrak{m}'H$ ein, wo H die Horizontalkomponente der Intensität bezeichnet. Durch die Wirkung dieser beiden einander entgegengesetzten Kräftepaare wird die Nadel um den Winkel φ aus dem magnetischen Meridian abgelenkt (Fig. 205). Das erste Kräftepaar erzeugt ein Drehmoment von der Größe

$$\frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2}\cdot\mathfrak{l}'\cos\varphi$$

und das andre Kräftepaar das Drehmoment

$$\mathfrak{m}'H\cdot\mathfrak{l}'\sin\varphi.$$

Da beide Drehmomente einander gleich sind, so ist

$$r^2\operatorname{tg}\varphi = \frac{\mathfrak{m}}{H}.$$

Unsre Aufgabe ist es, diese Folgerung aus dem Coulombschen Gesetz und damit das Gesetz selbst durch Versuche zu prüfen.

b) Lagere den Magnetstab mit einem Kork so auf den östlichen Teil des Maßstabes, daß sein Nordpol N_1 (Fig. 206) genau in 15 cm Abstand der Nadel zugekehrt ist, seine Achse auf der wagerechten Längsachse der Magnetnadel senkrecht steht und durch deren Mitte geht. *Erste Hauptlage.* Klopfe schwach

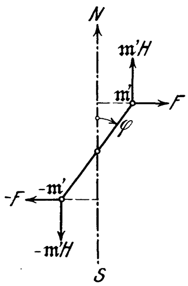

Fig. 205.

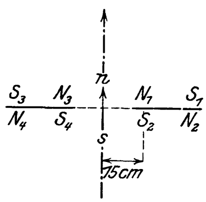

Fig. 206.

gegen das Magnetometer und lies die Ablenkungen beider Zeigerspitzen bis auf einen Zehntelgrad genau ab.

c) Drehe den Stab um 180°, so daß jetzt sein Südpol S_2 genau 15 cm von der Mitte der Nadel entfernt ist, und lies wiederum die Stellungen beider Zeigerspitzen ab.

d) Lege den Magnetstab so auf den westlichen Teil des Maßstabes, daß sein Nordpol N_3 der Nadel zugewandt und 15 cm von ihrer Mitte entfernt ist, und bestimme die Ablenkungen beider Zeigerspitzen.

e) Drehe den Stab um 180°, so daß jetzt sein Südpol S_4 genau 15 cm von der Mitte der Nadel entfernt ist, und lies die Stellungen beider Zeigerspitzen ab.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Magnetometer Nr. . . . Magnetstab Nr. . . . $H = \ldots$ [Gauß]

Stellungen des Magnetstabes: r cm	Stellungen des Magnetstabes: Stablage	Stellungen des Magnetstabes: Zugewandter Pol	Zeigerablesungen: Ostspitze	Zeigerablesungen: Westspitze	Zeigerablesungen: Mittel	φ	$\operatorname{tg}\varphi$	r^2	$\frac{1}{r^2}$	$r^2 \operatorname{tg}\varphi$	$\mathfrak{m}$
	östlich	N									
		S									
	westlich	N									
		S									

g) Führe die Versuche (b) bis (e) mit den Abständen 18 und 21 cm aus.

h) Trage die Ergebnisse in die Tafel ein und berechne aus den zusammengehörigen acht Zeigerablesungen die wahre Ablenkung φ.

i) Frage den Lehrer, wie groß H ist, und berechne $r^2 \operatorname{tg}\varphi$, $1/r^2$ und $\mathfrak{m}$. Nimm das Mittel aus allen Werten von $\mathfrak{m}$. Wie groß ist die Polstärke des Magnetstabs? Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei $\operatorname{tg}\varphi$ als Abszisse und $1/r^2$ als Ordinate. Welche Gestalt hat die Kurve? Was ergibt sich aus Rechnung und Zeichnung?

2. Verfahren.

Geräte wie beim 1. Verfahren, doch 2 Robisonsche Magnete statt der beiden langen Magnetstäbe.

Anleitung. k) Der Nordpol P_1 (Fig. 207) des Robisonschen Magnets hat die Stärke $+\mathfrak{m}$ und der Südpol die Stärke $-\mathfrak{m}$. Auf der verlängerten Achse des Magnets liege im Punkt C ein Nordpol von der Stärke $+\mathfrak{m}'$, der von P_1 um r_1 und von P_2 um r_2 cm entfernt ist. Wie groß ist nach dem Coulombschen Gesetz die Kraft F_1, mit der P_1 den Pol C abstößt, und die Kraft F_2, mit der P_2 den Pol C anzieht? Wie groß ist die Gesamtwirkung des Magnets $P_1 P_2$ auf den Nordpol C?

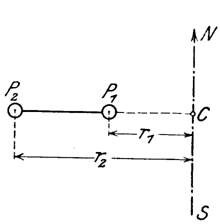

Fig. 207.

$$F = \mathfrak{m}\mathfrak{m}' \left(\frac{1}{r_1^{\,2}} - \frac{1}{r_2^{\,2}} \right).$$

Wir wollen annehmen, daß in C senkrecht zur Achse des Magnets $P_1 P_2$ eine Magnetnadel $P_1' P_2'$ stehe, deren Länge so gering sei, daß die Wirkung von $P_1 P_2$ auf P_1' und auf P_2' ebenso groß wie auf den Punkt C sei, es greife also in P_1' die Kraft $+F$ und in P_2' die Kraft $-F$ an. Stab und Nadel befinden sich in der ersten Hauptlage, und die Nadel sei in einer wagerechten Ebene frei beweglich und werde um den Winkel φ aus dem magnetischen Meridian abgelenkt. Wie groß ist das Drehmoment, das der Magnet $P_1 P_2$ hervorruft, und wie groß das Drehmoment, das der Erdmagnetismus erzeugt? Welche Beziehung besteht also zwischen r_1, r_2, φ, $\mathfrak{m}$ und H? Vgl. (a).

$$\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}} = \frac{\mathfrak{m}}{H}.$$

l) Verfahre mit dem Robisonschen Magnet ebenso wie mit dem langen Magnetstab bei den Versuchen (b) bis (e), doch lies hier noch den Abstand r_2 des zweiten Stabpols von der Mitte der Nadel auf ein Zehntelmillimeter genau ab. Die Fernpole liegen nahezu genau in den Mitten der Endkugeln, also in den Mitten der Kreise, die in die Kugeln eingeschnitten sind. Die Abstände dieser Kreise von der Mitte der Magnetnadel sind also r_1 und r_2. Solange die Kugel gut poliert ist, kann man den Kreis entbehren; denn der Pol liegt genau über dem Teilstrich des Maßstabes, dessen Spiegelbild man auf der Kugel als einen lotrechten Strich erblickt. Man gebe dem Pol, der der Magnetometermitte zugekehrt ist, der Reihe nach die Abstände 9, 11, 13 und 15 cm und trage die Ablesungen der beiden Zeigerspitzen in folgende Tafel ein.

Magnetometer Nr. . . . Magnet Nr. . . . $H = \ldots$ [Gauß].

Magnetstellungen				Nadelablesungen			φ	$\operatorname{tg}\varphi$	$\frac{\operatorname{tg}\varphi}{r_1^{-2} - r_2^{-2}}$	$\mathfrak{m}$
r_1 cm	r_2 cm	Magnetlage	Zugewandter Pol	Ostspitze	Westspitze	Mittel				
9		östlich	N							
			S							
		westlich	N							
			W							
Mittel $r_2 =$	. . .									

Bemerkungen. Bei den 50 cm langen Stahlstäben liegen die Pole nahezu in den Endpunkten und bei den Robisonschen Magneten in den Mittelpunkten der Kugeln; daher ist eine Polbestimmung überflüssig. John Robison hat diese Magnete im Jahre 1769 oder vorher ersonnen; sie wurden später unabhängig von ihm von G. F. C. Searle[1]) gefunden. Der hier benutzte Robisonsche Magnet wurde folgendermaßen hergestellt: In zwei enthärtete Fahrradkugeln von 0,79 cm Durchmesser wurde je ein Loch gebohrt, die Kugeln wurden wieder gehärtet und dann auf die Enden eines Stückes einer Stricknadel von 0,15 cm Durchmesser aufgeschraubt. Die Mittelpunkte der Kugeln stehen 10,41 cm voneinander ab. In die Kugelflächen sind die größten Kreise eingeschnitten, deren Ebenen auf der Stabachse senkrecht stehen und durch die Pole gehen. Der so zusammengesetzte Stab wurde auf folgende Weise magnetisiert: An den Enden zweier Rundstäbe aus schweißbarem Eisen wurden halbkugelförmige Höhlungen ausgedreht, deren Halbmesser gleich dem Radius der Kugeln ist. Der Stab mit den Kugelenden wurde in eine lange Glasröhre gesteckt, um die eine Draht-

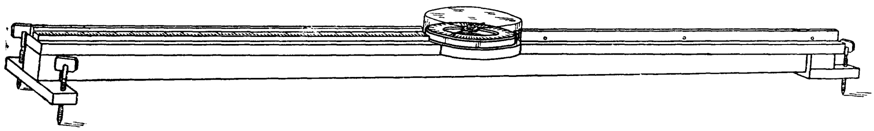

Fig. 208.

spule gewickelt worden war, von beiden Seiten her wurden die Eisenstücke so an die Kugeln herangeschoben, daß diese sich fest in die Höhlungen lagerten, und dann wurde durch die Spule ein kräftiger Strom geschickt. Der von mir benutzte Magnet hat eine Polstärke von 11 CGS-Einheiten, die von Searle hergestellten haben Polstärken von 10 bis 15 Einheiten.

Fr. C. G. Müller benutzt beim ersten Verfahren 2 m lange Stäbe von Bleistiftstärke, die er bei den Messungen senkrecht hält. Beim Arbeiten in gleicher Front ist die starke Fernwirkung so langer Magnete störend.

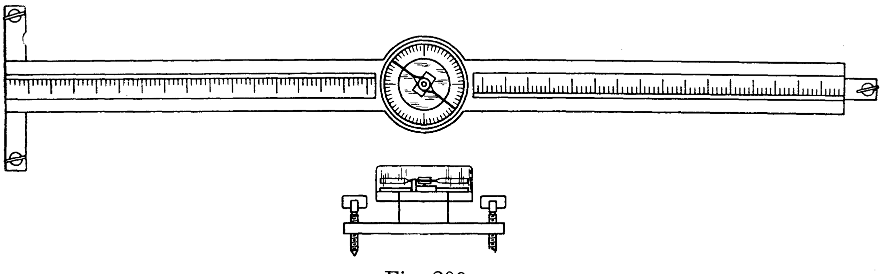

Fig. 209.

Das Zeigermagnetometer (Fig. 208) ist im wesentlichen nach den Vorschlägen von Hadley *(15 Nr. 16 u. 216 Nr. 4)* gebaut. Das Grundbrett hat die in Fig. 209 angegebene Form. Die untern Teile waren ursprünglich so angeordnet, daß man das Magnetometer auf ein Gestell, das Drahtspulen trug, setzen und so in eine Tangentenbussole verwandeln konnte. Diese Verbindung hat sich jedoch nicht bewährt, und es wird daher jetzt der Unterbau etwas standfester ausgeführt. Von zwei Maßstäben, die 50 cm lang und in Millimeter geteilt sind, werden die ersten 6 cm abgeschnitten und die Reste so befestigt, daß sie genau den Abstand von der Mitte des Teilkreises angeben. An dem geteilten Rand der Maßstäbe ist

[1]) *Notes on a Vibration Magnetometer and on the Ball-ended Magnets of* Robison. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 12, 27; 1903.*

eine dünne Holzleiste befestigt, die etwas über die Skala emporragt und als Führung dient. Beim Bau der Vorrichtung wurden keine Eisenteile verwandt, sondern nur Messingschrauben benutzt. Der Teilkreis (10 cm Durchmesser) ist auf eine dünne Holzscheibe geklebt, die so dick wie die Maßstäbe und zentrisch auf das Grundbrett geleimt ist. In die Mitte des Teilkreises ist die Spitze einer Nähnadel eingesetzt. Bei den Instumenten, die jetzt Herr Hintze anfertigt, ist die Kreisteilung auf einer Spiegelscheibe befestigt. Die Magnetnadel hat Hadley auf folgende Weise angefertigt: Er schmelzte eine Glasröhre halbkugelig zu und schnitt ein 1 cm langes Stück ab, magnetisierte dann zwei 2 cm lange Stücke einer Uhrfeder und band die gleichnamigen Pole mit Kupferdraht zusammen, nun schob er das Glashütchen zwischen die Mitten der beiden Magnete und befestigte es mit Siegellack, schließlich schnitt er aus Aluminiumblech einen Zeiger und bog dessen freies Ende so um, daß die Fläche lotrecht stand. Das Glashütchen hat sich jedoch nicht bewährt und es ist unbedingt die Verwendung eines Achathütchens oder eine Fadenaufhängung zu empfehlen. Als Gehäuse dient eine Kristallisationsschale von 11,5 cm Durchmesser und 3 cm Höhe.

Man stelle die Magnetometer an bestimmten Stellen auf, für die man die Horizontalkomponente bestimmt, und die man durch Marken dauernd kenntlich gemacht hat. Sind solche Bestimmungen noch nicht ausgeführt, so entnehme man den Wert für H aus Kohlrausch[10] *642 Taf. 38.*

Man halte darauf, daß die Schüler den Magnetstab richtig lagern, so daß dessen Achse auf der wagerechten Längsachse der Magnetnadel senkrecht steht und durch deren Mitte geht. Man lege geeignet zugeschnittene Korkscheiben unter, die man für den Robisonschen Magnet am besten mit einer Rinne versieht. Bei der Einstellung des Magnetstabes benutzt man schmale Spiegelstreifen, die man auf den Maßstab legt. Man achte ferner darauf, daß die Schüler vor dem Ablesen der Zeigerstellung stets schwach gegen das Magnetometer klopfen.

Das von Abraham *(2, 290 Nr. 122)* angegebene Verfahren hat sich nicht bewährt.

Über die Ableitung des Tangentengesetzes durch Versuche vgl. S. 65 und 106.

II. Magnetische Felder.

2. Aufgabe. *Welche Richtungen haben auf dem Arbeitstisch die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Ein Viertel eines Zeichenbogens ($\sim$30 cm $\times$ 40 cm). Zeichenbussole. Maßstab. | Klebpapier oder Klebwachs. Spitzer harter Bleistift. Dreieck.

Anleitung. a) Befestige mit Klebpapier oder Klebwachs das Blatt Papier so auf dem Tisch, daß das eine Ränderpaar nahezu von Norden nach Süden läuft. Teile durch kurze Bleistiftstriche den Südrand des Papiers in $\sim$ 5 cm lange Abschnitte. Setze die Zeichenbussole so auf das Papier, daß der Südpolausschnitt der Grundplatte möglichst genau über einem der Teilpunkte liegt, drehe die Bussole so um diesen Punkt, daß die Nadel genau über dem Strich auf der Grundplatte steht und markiere mit dem Bleistift möglichst genau die Lage des Nordpolausschnitts (Fig. 210). Verschiebe die Bussole in der Richtung, nach der ihr Nordpol weist, bis der Südpolausschnitt genau über der soeben gemachten Marke liegt, drehe die Bussole um diesen Punkt, bis die Nadel genau über dem Südnordstrich der Grundplatte steht, und markiere wiederum die Lage des Nordpolausschnitts. Fahre so fort, bis der Rand des Papiers erreicht ist. Verbinde alle Punkte durch eine Linie. *Kraftlinie.*

b) Zeichne weitere Kraftlinien und beginne jedesmal bei einem Teilstrich am Südrand des Papiers.

c) Mache an jeder Kraftlinie eine Pfeilspitze, die die Richtung anzeigt, wohin der Nordpol der Magnetnadel weist. *Positive Richtung der Kraftlinie.*

d) Zeichne eine Skizze des Feldes in das Heft.

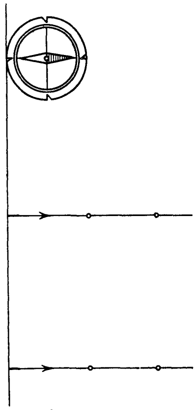

Fig. 210.

Bemerkungen. Es wird hier nicht die Richtung der erdmagnetischen Kraft, sondern die ihrer Horizontalkomponente aufgenommen, und es handelt sich demnach auch nicht um das erdmagnetische Feld selbst, sondern um dessen Projektion auf die Tischfläche. Am Ende der Übung gehe man mit allen Schülern von Blatt zu Blatt, damit sie eine klare Vorstellung vom Verlauf der Kraftlinien im ganzen Arbeitsraum gewinnen. Jede Schraube und jeder Nagel in der Tischplatte ruft eine deutliche Verzerrung des Feldes hervor. Auch der Einfluß von entfernten eisernen Trägern und Heizkörpern ist klar zu erkennen. Wenn solche Störungen auch recht lehrreich sind, so sollen doch die Tische ganz und die Arbeitsräume möglichst eisenfrei sein. In meinem Laboratorium in der Alten Urania habe ich deshalb die Gasleitungen aus Messing herstellen lassen.

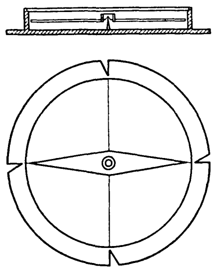

Fig. 211.

Die Zeichenbussole (Fig. 211) besteht aus einer versilberten Grundplatte aus Messing, in die ein rechtwinkliges Achsenkreuz eingeritzt ist, das in Markierausschnitten endigt. Im Schnittpunkt der Achse sitzt die Spitze, auf der die Magnetnadel spielt. Auf der Grundplatte ist ein Messingring befestigt, der eine dünne Glasplatte trägt.

3. Aufgabe. *Welche Richtungen haben die Kraftlinien des magnetischen Feldes, das von der Erde und einem Stabmagnet erzeugt wird?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Stabmagnet (15 cm × 1 cm × 1 cm). Zeichenbogen (80 cm × 60 cm). | Zeichenbussole. Spitzer harter Bleistift. Klebpapier oder Klebwachs.

Anleitung. a) Befestige mit Klebpapier oder Klebwachs den Zeichenbogen auf dem Tisch. Lege den Magnet so auf die Mitte des Papiers, daß seine Achse von Norden nach Süden gerichtet und sein Nordpol nach Süden gekehrt ist. Umfahre mit dem Bleistift den Umfang des Magnets und bezeichne am Umriß die Lage der Pole mit den Buchstaben *N* und *S*. Markiere längs des Umrisses in $^1/_2$ bis 1 cm Abstand etwa 20 Punkte, lege jedoch diese Ausgangspunkte der Kraftlinien bei den Polen dichter zusammen als bei der Mitte.

b) Nimm genau so wie in Aufgabe 2, S. 308, die Kraftlinien auf. Bezeichne von Zeit zu Zeit die Richtung, wohin der Nordpol der Bussolenadel weist. Verbinde die zusammengehörigen Punkte durch Linien.

c) Gibt es in dem Felde Stellen, wo die Kräfte der Erde und des Magnets genau gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet sind und die Stellung der Bussolenadel unbestimmt ist? Untersuche die Umgebung dieser Stellen besonders.

d) Zeichne Kraftlinien, die am Südrand des Papiers anfangen und den Magnet nicht treffen.

e) Zeichne eine Skizze des Feldes in das Heft.

f) Lege den Magnet so, daß sein Südpol nach Süden gerichtet ist, und verfahre wie bei (a) bis (e).

g) Lege die Achse des Magnets von Osten nach Westen und den Nordpol nach Osten und verfahre wie bei (a) bis (e).

h) Lege die Achse des Magnets von Osten nach Westen und den Nordpol nach Westen und verfahre wie bei (a) bis (e).

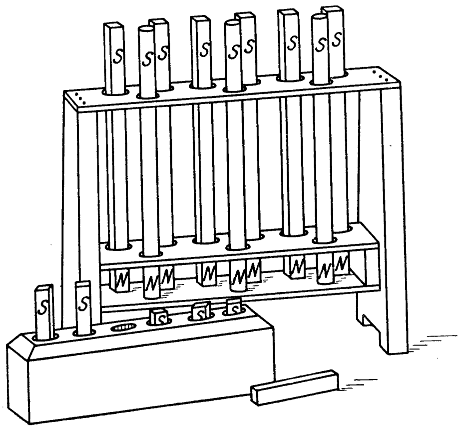

Fig. 212.

Bemerkungen. Man läßt die einzelnen Gruppen mit verschiedenen Lagen des Magnets (a, f, g und h) arbeiten und geht am Schluß der Übung mit allen Schülern von Bild zu Bild und läßt sie die wechselseitigen Störungen von Erdfeld und Magnetfeld erörtern. Besonders tüchtige Schüler lasse man die Aufnahme auf einem Reißbrett ausführen und dabei durch dessen Drehung das Erdfeld in bekannter Weise ausschalten.

Die Stabmagnete hebt man in Gestellen auf und stellt alle Nordpole nach unten (Fig. 212). Man achte darauf, daß die Schüler die Magnete nach dem Gebrauch sorgfältig abwischen.

4. Aufgabe. *Mache den Verlauf der Kraftlinien in der Nähe eines Magnets durch Eisenfeilspäne sichtbar.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 2 Stabmagnete (vgl. S. 309). Hufeisenmagnet, 9 cm Schenkellänge, Querschnitt 2 cm $\times$ 0,8 cm. | Stabmagnet mit kreisförmigem Querschnitt von 15 cm Länge und 1 cm Durchmesser.

Geräte.

Ring aus weichem Eisen, 1 cm hoch, Durchmesser 3 und 2 cm.	Streubüchse.
Ring, ebenso groß, in Viertel zerschnitten.	Feilspäne aus weichem Eisen.
4 Holzleisten (15 cm × 2 cm × 1 cm).	Paraffin.
4 Holzleisten (30 cm × 2 cm × 1 cm).	Flache Weißblechschale (34 cm × 22 cm × 1,7 cm) mit schrägem Rande.
Hammer (Kork auf einen Fischbeinstab gespießt, der an beiden Enden zugespitzt ist).	Zeichenbogen.
	Schreibpapier.
	Dreifuß.
	Bunsenbrenner.
	Gasschlauch.
	Schippe und Besen.

Anleitung. **a)** Lege um den Stabmagnet Holzleisten und darüber einen halben Bogen Zeichenpapier. Halte die Streubüchse so hoch wie möglich und streue die Eisenfeilspäne gleichmäßig dünn über das Papier. Klopfe mit dem Korkhammer schwach auf den Rand des Papiers und tupfe vorsichtig mit der Spitze des Fischbeinstabes die Teile des Feldes heraus, die sich nicht ganz tadellos gestaltet haben. Zeichne eine Skizze des Bildes in das Heft. Schütte die Eisenfeilspäne sorgfältig in die Streubüchse zurück.

b) Stelle ebenso Kraftlinienbilder mit folgenden Anordnungen der Magnete her und zeichne von jedem Feld eine Skizze in das Heft.

α) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, ungleichnamige Pole einander gegenüber.

β) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, gleichnamige Pole einander gegenüber.

γ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand gegeneinander gekehrt.

δ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, gleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand gegeneinander gekehrt.

ε) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 5 cm Abstand gegeneinander gekehrt, dazwischen ein eiserner Ring (Fig. 213).

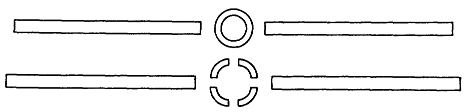

Fig. 213.

ζ) Wie bei (*ε*), doch Polabstand 6 cm, dazwischen ein in Viertel zerschnittener Ring.

η) Hufeisenmagnet.

ϑ) Zylindrischer Stabmagnet, aufrecht gestellt, Papier wagerecht über die Stirnfläche gelegt.

c) Benutze bei den Versuchen (a) und (b) paraffiniertes Papier anstatt des Zeichenpapiers, schmelze nach der Herstellung des Kraftlinienbildes durch Bestreichen mit einer Bunsenflamme vorsichtig das Paraffin und laß dann das Papier erkalten.

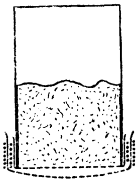

Fig. 214.

Bemerkungen. Das paraffinierte Papier stellt man her, indem man Paraffin in einer Weißblechschale schmelzt und dieses nahezu bis zum Sieden erhitzt, hierauf ein Blatt dünnes Schreibpapier einmal durch das Paraffin hindurchzieht und dann lotrecht hält, bis es erkaltet ist.

Als Streubüchse verwendet man nach dem Vorgang von W. Volkmann eine Glühstrumpfhülse, über die man zuerst ein Stück Musselin straff und darüber noch ein zweites Stück Musselin lose gebunden hat (Fig. 214), oder eine Blechbüchse mit Drahtgazedeckel.

5. Aufgabe. *Wie verlaufen die Niveaulinien in einem Felde, das von zwei Stabmagneten erzeugt wird?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Hadley *27 Nr. 32.*

Geräte. 2 Stabmagnete. Zeichenbussole. Zeichenbogen. | Spitzer harter Bleistift. Klebpapier oder Klebwachs.

Anleitung. a) Befestige einen halben Zeichenbogen mit Klebpapier oder Klebwachs auf dem Tisch. Lege zwei Stabmagnete so darauf, daß ihre Achsen in eine Gerade fallen und die ungleichnamigen Pole ~ 10 cm voneinander abstehen. Umfahre die Umrisse mit einem spitzen harten Bleistift und bezeichne die Pole.

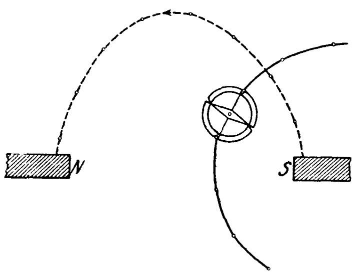

Fig. 215.

b) Zeichne mit der Zeichenbussole 7 bis 8 Kraftlinien und ebensoviele Niveaulinien (Fig. 215). Bei der Aufnahme der Niveaulinien dreht man die Bussole so, daß die Nadel über dem einen Strich der Grundplatte steht und markiert dann das eine Ende des Striches, der auf jenem senkrecht steht. Punktiere die Kraftlinien und ziehe die Niveaulinien aus. Welche Winkel bilden die Kraft- und Niveaulinien miteinander?

Bemerkung. Man weise die Schüler darauf hin, daß die Niveaulinien nur die Schnitte der Niveauflächen des Feldes mit der Zeichenebene sind.

6. Aufgabe. *Ist an verschiedenen Stellen des Arbeitsraumes die Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus gleich groß?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Schwingungs-Magnetometer (vgl. S. 314). Stechuhr. | Zielvorrichtung. Nachtlicht.

Anleitung. **a)** Stelle an einem Ort des Arbeitsraumes das Magnetometer auf den Tisch und sieh nach, ob der Magnet frei schwingt. Senke den Magnet, wenn er die Mitte seines Schwingungsbogens erreicht, und hebe ihn wieder. Wiederhole dieses Heben und Senken, bis die Schwingungen ganz aufhören. Wähle den Spiegel, der für die Beobachtung am bequemsten liegt, und stelle in geringem Abstand davon und unter einem großen Winkel zur Spiegelnormalen ein Nachtlicht auf. Gib der Zielvorrichtung eine solche Stellung, daß das Bild der Flamme auf der Verbindungsgeraden von Kimme und Korn liegt.

b) Setze den Magnet durch eine vorübergehende Annäherung eines Messers oder eines andern Magnets in Schwingungen, deren Bogen nach jeder Seite der Gleichgewichtslage nicht größer als 10^0 ist. Setze in dem Augenblick, wo das Flammenbild durch die Sehlinie hindurchgeht, die Stechuhr in Gang und zähle, mit Null beginnend, sorgfältig 100 aufeinanderfolgende Durchgänge von derselben Seite her. Bringe, sobald die Zahl $N = 100$ erreicht ist, die Uhr zum Stehen und lies die Schwingungszeit t sek ab. Berechne die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, $n = N/t$. Wiederhole die Messung dreimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Horizontalintensität am Hauptort . . . Gauß.

Ort	Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n = N/t$	Schwingungszahl Mittel	n^2	Horizontalintensität H_ν Gauß	Bemerkungen

d) Hängt man einen Magnet vom Moment M an einem Faden auf und bezeichnet $\mathfrak{H}$ Gauß die Feldstärke, so ist die Richtkraft des Magnets $D = M\mathfrak{H}$. Bezeichnen τ sek die Schwingungsdauer und K das Trägheitsmoment des Magnets, so ist

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{D} = 4\pi^2 \frac{K}{M\mathfrak{H}}$$

und, wenn n die Schwingungszahl des Magnets in der Sekunde bedeutet,

$$M\mathfrak{H} = 4\pi^2 K n^2.$$

Sind an zwei Orten, wo die Feldstärken die Werte $\mathfrak{H}_1$ und $\mathfrak{H}_2$ Gauß haben, die Schwingungszahlen des Magnets n_1 und n_2, so ist $\mathfrak{H}_1/\mathfrak{H}_2 = n_1^2/n_2^2$.

e) Ist H Gauß die Horizontalintensität am Hauptort und H_ν Gauß die an einer andern Stelle des Arbeitsraumes, so ist $H_\nu/H = n^2/n_0^2$, wo n_0 die Schwingungszahl am Hauptort bezeichnet.

Bemerkungen. Sind im Arbeitsraum die Orte markiert, für die bereits früher die Horizontalintensität bestimmt worden ist, so läßt man wieder an diesen Stellen die Vergleichungen ausführen. Es ist empfehlenswert, im Arbeitsraum einen Plan mit Angabe dieser Orte und der dort herrschenden Horizontalintensitäten dauernd auszuhängen.

Ist die Schwingungsdauer des Magnets groß oder hören die Schwingungen zu rasch auf, so begnüge man sich mit 30 bis 50 Schwingungen.

Das Schwingungsmagnetometer von Hadley *(45 Nr. 36 u. 218 Nr. 7)* hat folgenden Bau: In der Durchbohrung einer Suberitscheibe sitzt eine Glasröhre von 20 cm Länge und 2 cm lichter Weite (Fig. 216). Durch den Kork, der die Röhre oben verschließt, ist ein rechtwinklig gebogener Messingdraht gesteckt, der unten flach gehämmert und durchbohrt ist. An diesen Messingdraht ist ein Kokonfaden befestigt, der unten einen Kupferdraht trägt, an dem zwei kleine Korkstücke und unten ein kurzer Magnet von 1,5 cm Länge und 0,25 cm Durchmesser befestigt ist. Auf die Korkstücke sind vier Spiegel (versilberte Deckgläschen) gekittet, deren Normalen in zwei sich rechtwinklig kreuzenden Geraden liegen. Das Magnetometer kann man auch aus der Suberitscheibe herausnehmen und in einen eisenfreien Halter klemmen, der in Fig. 219 abgebildet ist.

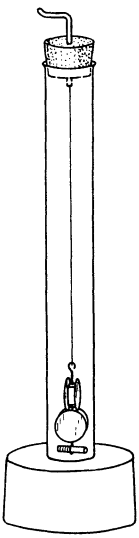

Fig. 216.

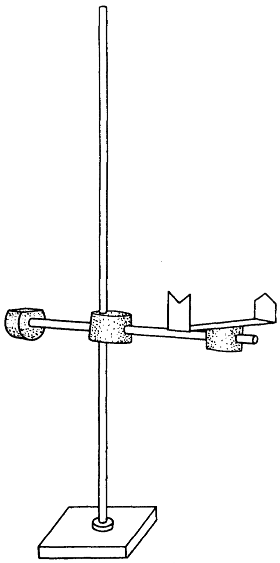

Fig. 217.

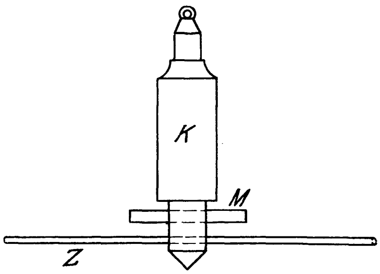

Fig. 218.

Beim Zurichten von Kokonfäden benutzt man Spiegel (45 cm × 8 cm) und kleine Haken, wie sie die Haararbeiter benutzen, oder eine Stecknadel, deren Spitze kurz umgebogen und deren Kopf in ein Stückchen Siegellack eingekittet ist.

Die Zielvorrichtung stellt man sich aus Korken, Glasröhren, Karton und einer weithalsigen Flasche oder besser einem Holzbrett so zusammen, wie es die Fig. 217 zeigt. Statt dieser Zielvorrichtung kann man auch das Sehrohr (vgl. S. 158) benutzen, das man in ein hölzernes Gestell einklemmt.

Solche leichten schwingenden Magnetsysteme besitzen, wie G. F. C. Searle *(Proceedings of the Cambridge Phil. Society 12, 27; 1903)* mit Recht hervorhebt, mancherlei Schattenseiten. Er hat deshalb folgendes Magnetometer gebaut:

In Fig. 218 ist das schwingende System abgebildet. Der Magnet ist ein Zylinder aus Silberstahl von 1,50 cm Länge und 0,14 cm Durchmesser. Der Stahl wird hellrot erhitzt, abgelöscht und so glashart gemacht, dann zwischen den Polschuhen eines kleinen Elektromagnets magnetisiert. Sein magnetisches Moment ist $\sim$ 3 CGS-Einheiten. Der Magnet M ist, um seine Schwingungsdauer stark zu vergrößern, an einem Messingkörper befestigt. Der Hauptteil des Gehänges K hat die Länge 1,6 cm und den Durchmesser 0,8 cm. Die Gesamtmasse des Systems ist $\sim$ 8,5 gr. In den untern Teil des Gehänges, der auf einen kleineren Durchmesser abgedreht ist, ist der Magnet und ein 5 cm langer Zeiger Z aus Aluminiumdraht eingesetzt. Das untere Ende des Gehänges läuft in eine scharfe Spitze aus. In das obere Ende ist in der Richtung der Achse ein kleines Loch gebohrt und in dieses eine Schleife aus dünnem Draht gelötet. An der so hergestellten Öse wird der Aufhängefaden befestigt.

Ist die Vorrichtung sorgfältig hergestellt und gut aufgehängt, so liegt die Mitte des Magnets genau in der Lotlinie, die durch die Spitze des Gehänges geht.

Das Gehänge ist etwa fünfzigmal so schwer als der Magnet selbst, und es wird daher das System in einem ungleichförmigen Felde nicht merklich zur Seite gezogen, wenn nicht dessen Gefälle sehr groß ist. Das System schwingt, wenn es sorgfältig ausgeführt ist, ganz stetig um seine lotrechte Achse, ohne dabei pendelartige Bewegungen zu machen.

Das Gehänge ist mit einer Faser aus ungesponnener Seide von 10 bis 15 cm Länge an einem einfachen Torsionskopf aufgehängt, der in einem Lampenzylinder sitzt (Fig. 220). Der Fuß des Zylinders wird, wenn das Magnetometer nicht benutzt wird, auf eine Holzscheibe gesetzt, die ihm eine größere Standfestigkeit verleiht.

Der Aluminiumzeiger gestattet, die Schwingungen selbst bei kleinen Ausschlägen gut zu beobachten. Man wählt als Anfangsausschlag einen Bogen von $\sim 10^0$ nach beiden Seiten. Als Marke dient eine Stecknadel, die in einen Kork gesteckt ist. Man bestimmt die Schwingungszahl aus der Zeit von $\sim$ 30 vollen Schwingungen.

Man kann auch nach Whiting *(411 Nr. 75)* den kleinen Magnet mit Siegellack an einer Bleikugel befestigen, die an einem Kokonfaden aufgehängt wird. Die Masse der Kugel soll so groß sein, daß im Erdfeld die Dauer einer vollen Schwingung $\sim$ 6 sek ist.

7. Aufgabe. *Wie ändert sich die Feldstärke in einem Felde, das von einem Magnet erzeugt wird?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Coulomb, *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences (1785) 578.* Ostwalds *Klass. 13, 27.*

Geräte.

Schwingungsmagnetometer nach Hadley.	Langer Magnet (75 cm × 1 cm × 0,5 cm).
Halter dazu.	Halter dazu.
Zielvorrichtung.	Große Magnetnadel.
Nachtlicht.	Schublehre.
Stechuhr.	Maßstab.

Anleitung. a) Klemme den Stabmagnet lotrecht derart fest, daß der Nordpol nach unten gekehrt ist (Fig. 219). Stelle nördlich davon das Magnetometer so auf, daß sein Faden in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, die durch die Längsachse des Stabes geht, und daß die schwingende Nadel genau in der Höhe des Fernpols des Stabmagnets liegt und davon 15 cm absteht.

b) Bestimme mit der Stechuhr die Zeit (t_1 sek), in der die Nadel 100 (N_1) Schwingungen ausführt, und berechne daraus die Schwingungszahl in der Sekunde, $n_1 = N_1/t_1$.

c) Nach Aufgabe 6, S. 313, ist $M\mathfrak{H} = 4\pi^2 K n^2$, wo M das magnetische Moment, K das Trägheitsmoment, n die Schwingungszahl der Magnetometernadel und $\mathfrak{H}$ die wagerechte Feldstärke des Aufstellungsortes bedeutet. Setzt man $M/4\pi^2 K = c$, so wird $n^2 = c\mathfrak{H}$. An dem Aufstellungsort des Magnetometers liegen zwei magnetische Felder übereinander, das der Erde, dessen Horizontal-Intensität H Gauß, und das des Stabmagnets, dessen Horizontal-Intensität an dieser Stelle $\mathfrak{h}$ Gauß ist. Wir haben mithin die Beziehungen $\mathfrak{H} = H + \mathfrak{h}$ und $n^2 = c\,(H + \mathfrak{h})$. Entfernt man den Magnetstab, so wird die Schwingungszahl der Magnetometernadel n_0, wo $n_0^2 = cH$ ist. Es besteht also die Beziehung

$$\frac{n^2}{n_0^2} = \frac{H + \mathfrak{h}}{H}$$

oder

$$\mathfrak{h} = \frac{n^2 - n_0^2}{n_0^2} H.$$

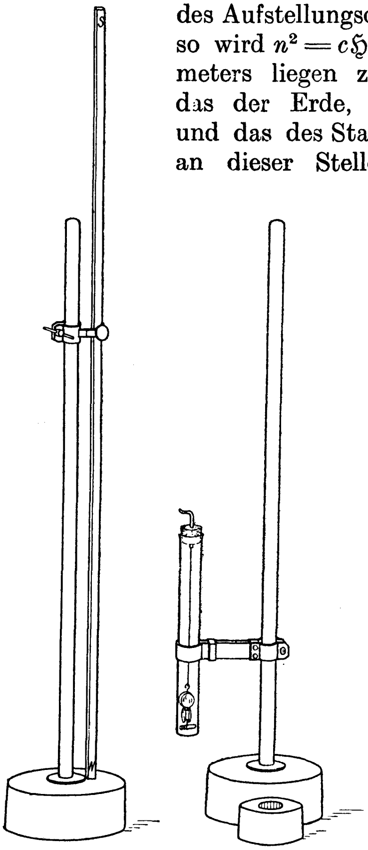

Fig. 219.

Haben die Pole des schwingenden Magnets die Stärke $\mathfrak{m}'$, so übt der Stabmagnet auf sie die Kraft $F = \mathfrak{m}'\mathfrak{h}$ [Dyne] aus.

Bestimmt man die Schwingungszahlen n_1 und n_2 der Magnetometernadel, wenn ihr Abstand von dem felderregenden Pol des Magnetstabs r_1 und r_2 cm ist, und wenn am Aufstellungsort die Kräfte F_1 und F_2 [Dyne] die wagerechten Feldstärken $\mathfrak{h}_1$ und $\mathfrak{h}_2$ Gauß erregen, so besteht die Beziehung

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\mathfrak{h}_1}{\mathfrak{h}_2} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_2^2 - n_0^2}.$$

d) Verschiebe die Magnetstabachse parallel zu sich selbst so in der Ebene des magnetischen Meridians, daß der Abstand des Nordpols des Stabmagnets von der Mitte der Magnetometernadel nur $r_2 = 10$ [cm] beträgt und bestimme die Schwingungszahl n_2 des Magnetometers.

e) Entferne den Magnetstab und bestimme die Schwingungszahl n_0 der Magnetnadel.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetstab Nr. . . . Abstand des Nordpols vom benachbarten Stabende . . . cm. Schwingungsmagnetometer Nr. . . . Schwingungszahl im Erdfeld $n_0 = \ldots$

Entfernung r cm	Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n = N/t$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_2^2 - n_0^2}$	$\frac{r_2^2}{r_1^2}$

g) Berechne die Verhältnisse F_1/F_2 und r_2^2/r_1^2 und vergleiche sie miteinander.

2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. G. F. C. SEARLE, *a. a. O.*

Geräte. Schwingungsmagnetometer nach SEARLE (vgl. S. 314).
Robisonscher Magnet.
Halter dafür.
Bleistücke oder Klebpapier oder Klebwachs.
Zeichenbogen.
2 Zeichendreiecke.
Spitzer harter Bleistift.
Stecknadel.
Kork.
Maßstab.
Große Magnetnadel.

Anleitung. h) Befestige mit Bleigewichten oder Klebpapier oder Klebwachs einen halben Bogen Zeichenpapier auf dem Tisch. Zeichne darauf die Richtung des magnetischen Meridians. Trage von der Mitte O dieser Geraden aus die Strecken $r = 10$, 12, 14, 16, 20 und 24 cm darauf ab und schreibe diese Abstände an die Marken.

i) Stelle das Magnetometer so über den Punkt O, daß die Spitze seines Gehänges ganz dicht und genau über O liegt, halte das Auge $\sim$ 1 m von der Markiernadel entfernt, bestimme dreimal aus der Zeit von $\sim$ 30 kleinen Schwingungen die Schwingungszahl im Erdfeld und bilde daraus den Mittelwert n_0.

k) Klemme mit einem durchgeschnittenen Kork den Robisonschen Magnet lotrecht so im Halter fest, daß seine Spitze genau auf dem Punkt der Geraden aufsteht, der 10 cm von O entfernt ist (Fig. 220). Liegt der Punkt südlich vom Magnetometer, so setzt man den Nordpol des Magnets auf das Papier, damit die magnetische Kraft, die der Pol ausübt, die gleiche Richtung wie die Erdkraft hat. Bestimme zwei- bis dreimal aus der Zeit von 30 kleinen Schwingungen die Schwingungszahl der Magnetnadel und bilde aus den Ergebnissen den Mittelwert n.

l) Setze der Reihe nach denselben Pol des Robisonschen Magnets auf die übrigen markierten Punkte der Meridiangeraden und bestimme für jede Stellung die Schwingungszahl.

m) Bedeuten $\mathfrak{h}$ Gauß die Horizontalkomponente der Feldstärke, die der Magnet erzeugt, und H Gauß die Horizontal-Intensität des Erdfeldes, so ist in O die gesamte wagerechte Feldstärke $\mathfrak{h} + H$. Bezeichnet n die Schwingungszahl im zusammengesetzten Felde und n_o die im Erdfeld, so ist

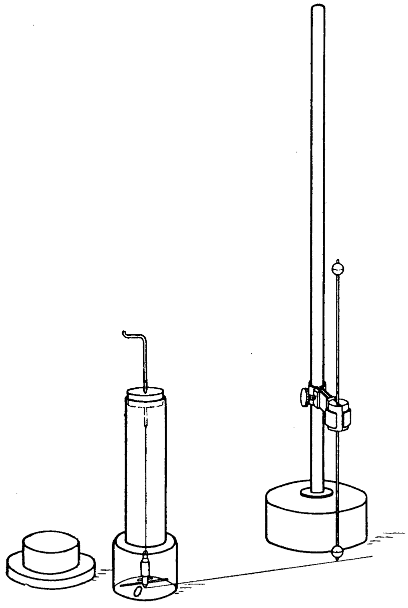

Fig. 220.

$$\frac{\mathfrak{h} + H}{H} = \frac{n^2}{n_o^{\,2}}$$

und daher

$$\mathfrak{h} = \frac{n^2 - n_o^{\,2}}{n_o^{\,2}} H.$$

Bedeuten $\mathfrak{m}$ die Polstärke des ROBISONschen Magnets und $\mathfrak{m}'$ die der schwingenden Magnetnadel, so ist, wenn r cm den Abstand des

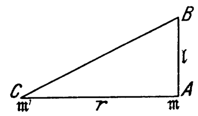

Fig. 221.

Pols A (Fig. 221) des ROBISONschen Magnets von der Mitte C der Magnetnadel bezeichnet, die Kraft, mit der der Nordpol A auf den Nordpol der Nadel wirkt

$$F_1 = \frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2}$$

und, wenn $\mathfrak{l}$ cm den Polabstand des ROBISONschen Magnets bezeichnet, die wagerechte Komponente der Kraft, die der Südpol B auf den Nordpol der Nadel ausübt,

$$F_2 = -\frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2 + l^2} \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{1/2}} = -\frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2} \cdot \frac{r^3}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{3/2}},$$

mithin die gesamte wagerechte Kraft

$$F = F_1 + F_2 = \frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2}\left[1 - \frac{r^3}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{3/2}}\right].$$

Bezeichnet $\mathfrak{h}$ Gauß die hierdurch erzeugte wagerechte Feldstärke am Ort C, so ist $F = \mathfrak{m}'\mathfrak{h}$ und daher

$$\mathfrak{h} = \frac{\mathfrak{m}}{r^2}\left[1 - \frac{r^3}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{3/2}}\right],$$

also

$$\mathfrak{m} = \frac{r^2 \mathfrak{h}}{1 - \frac{r^3}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{3/2}}}.$$

n) Berechne nach (m) aus den Schwingungszahlen n_0 und n die Horizontalkomponente $\mathfrak{h}$ der Feldstärke und die Polstärke des ROBISONschen Magnets.

o) Können wir uns ein Urteil über die Richtigkeit von COULOMBS Gesetz bilden, wenn wir für $\mathfrak{m}$ nahezu übereinstimmende Werte erhalten?

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schwingungsmagnetometer Nr. . . . ROBISONscher Magnet Nr. . . . Polabstand $\mathfrak{l}$ = . . . [cm]. Horizontalkomponente des Erdfeldes H = . . . [Gauß].

Anzahl der Schwingungen N_0	Schwingungszeit t_0 sek	Schwingungszahl $n_0 = N_0/t_0$
	Mittel	. . . . . .

Abstand r cm	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n = N/t$	Schwingungszahl Mittel	Horizontalkomponente des Magnetfeldes $\mathfrak{h}$ Gauß	$r^2 \mathfrak{h}$	$\mathfrak{m}$
						Mittel	. . . .

Bemerkungen. Die Richtigkeit von COULOMBS Gesetz entzieht sich streng genommen einer allgemeinen experimentellen Bestätigung. Es ist nur für kleine Bruchstücke zweier Magnete in der Form $dF = k\, d\mathfrak{m}_1\, d\mathfrak{m}_2/r^2$ allgemein gültig. Der Nenner hat zunächst bloß geometrische Bedeutung und nur insofern einen physikalischen Inhalt, als er ausdrückt, daß sich die Gesamtwirkung von den Fernwirkungspunkten aus gleichförmig ausbreitet.

Beim ersten Verfahren darf der Abstand der Nadel des Magnetometers vom Magnetstab eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sonst macht sich die Wirkung des südlichen Stabpoles geltend. Die Ausführung des Versuchs verlangt, daß der Lehrer zuvor die Lage des nördlichen Fernpoles bestimmt hat. Es hält schwer, so lange Magnetstäbe derart zu magnetisieren, daß sie frei von Folgepolen sind.

Der ROBISONsche Magnet, der beim zweiten Verfahren benutzt wird, ist eine besondere Magnetform, für die sich die Fernpole, die in den Kugelmitten liegen, mit ausreichender Genauigkeit angeben lassen, und für die die Fernwirkung durch die Gleichung $F = \mathfrak{m}_1 \mathfrak{m}_2 / r^2$ darstellbar wird. Bei den Messungen ändert man r und erhält als Ergebnis die Größe der sich gleichbleibenden Polstärke des Magnets. Der beim zweiten Verfahren benutzte Robisonsche Magnet hat einen Stab aus Silberstahl von 0,23 cm Durchmesser. Die Stahlkugeln an beiden Enden haben einen Durchmesser von 1,27 cm und der Abstand der Kugelmitten, der Polabstand, ist 30,5 cm. Die Kugeln sind in der Achsenrichtung des Stabes mit kleinen Spitzen versehen, so daß man den Magnet scharf einstellen kann. Die Mitte der untern Kugel liegt, wenn das Gehänge des Magnetometers gut eingestellt ist, mit der Mitte der Magnetnadel auf einer wagerechten Geraden. Auf der Kugeloberfläche ist der größte Kreis eingeschnitten, dessen Ebene auf der Stabachse senkrecht steht. Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 1 S. 306.

8. Aufgabe. *Ist die Arbeit, die erforderlich ist, um einen Nordpol von einer Niveaufläche auf eine andere zu bewegen, vom Weg abhängig?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Hadley *50 Nr. 41.*

Geräte.

Zeichenbogen.	Halter dazu.
Klebpapier oder Klebwachs.	Zeichenbussole.
Spitzer harter Bleistift.	Stechuhr.
Stabmagnet (vgl. S. 309).	Zielvorrichtung.
Schwingungsmagnetometer (vgl. S. 314).	Nachtlicht.
	Maßstab.
	Schere.

Anleitung. **a)** Hefte mit Klebpapier oder Klebwachs einen halben Zeichenbogen auf den Tisch. Lege den Stabmagnet darauf, umfahre den Umriß und bezeichne die Pole.

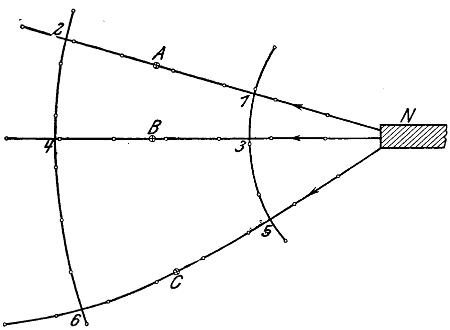

Fig. 222.

b) Zeichne wie in Aufgabe 3 S. 309 und Aufgabe 5 S. 312 mit der Zeichenbussole Stücke von drei Kraftlinien $\overline{12}$, $\overline{34}$ und $\overline{56}$ (Fig. 222) und von zwei Niveaulinien $\overline{135}$ und $\overline{246}$. Miß mit einem schmalen Papierstreifen die Längen der Kraftlinienstücke $\overline{12}$, $\overline{34}$ und $\overline{56}$ und bestimme so genau wie möglich deren Mittelpunkte A, B und C.

c) Stelle sorgfältig das Magnetometer genau über dem Punkt A auf und bestimme mit der Stechuhr die Zeit t_a sek von $N_a = 100$ Schwingungen und daraus die Schwingungszahl $n_a = N_a / t_a$. Ermittle ebenso die Schwingungszahlen n_b und n_c, wenn das Magnetometer über B und C steht.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Magnet Nr. . . .

Kraft-linie	Länge des Kraftlinien-stücks d cm	Zahl der Schwingungen N	Schwingungs-zeit t sek	Schwingungs-zahl $n = N/t$	n^2	$n^2 d$
$\overline{12}$						
$\overline{34}$						
$\overline{56}$						

e) Die Arbeit, die an dem Nordpol bei der Verschiebung längs d_a zu leisten ist, wird durch das Produkt aus der erforderlichen Kraft F_a Dyne und dem Weg d_a cm gemessen. F_a aber ändert sich auf der Kraftlinie d_a von Ort zu Ort. Wir setzen für diese veränderliche Kraft die Kraft f_a Dyne, die in der Mitte A des Weges d_a herrscht. Diese Kraft aber ist proportional n_a^2. Auf dem Wege d_a ist also die Arbeit zu leisten $Q_a = f_a d_a = \lambda n_a^2 d_a$, wo λ einen konstanten Faktor bezeichnet. Ebenso ist $Q_b = \lambda n_b^2 d_b$ und $Q_c = \lambda n_c^2 d_c$.

f) Vergleiche die Produkte $n^2 d$ miteinander. In welchem Verhältnis stehen also die Arbeiten Q zueinander?

III. Das magnetische Feld der Erde.

9. Aufgabe *Wie groß ist die Horizontal-Intensität des Erdfeldes?*

1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wage.
Gewichtsatz.
Maßstab.
Magnetstab A (5 cm $\times$ 0,8 cm $\times$ 0,8 cm).
Magnetstab B (3 cm $\times$ 0,8 cm $\times$ 0,8 cm).
Batterieglas (20 cm hoch, 12 cm Durchmesser).
Stechuhr.
Zeigermagnetometer.
Schublehre.

Anleitung. a) Bezeichnen τ sek die Schwingungsdauer, K das Trägheitsmoment und M das magnetische Moment eines Magnetstabs und H Gauß die Horizontal-Intensität des Erdfeldes, so ist (vgl. S. 313).

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{MH}.$$

Kennt man τ, K und H, so kann man M bestimmen. Sind hingegen τ, K und M bekannt, so läßt sich H ermitteln.

b) Die gegebnen Magnetstäbe haben einen quadratischen Querschnitt. Ist a cm die Länge des Stabs und b cm die Seite seines

Querschnitts, so ist das Trägheitsmoment des Stabes, bezogen auf eine Achse, die durch den Schwerpunkt parallel zum quadratischen Querschnitt geht,

$$K = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2).$$

c) Bestimme die Massen (m gr) der beiden Magnetstäbe, miß ihre Längen (a cm) und die Seiten ihrer quadratischen Stirnflächen und berechne ihre Trägheitsmomente K_1 und K_2.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetstab A Nr. . . . Magnetstab B Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . .

Magnet	Masse m gr	Länge a cm	Seite b cm	Trägheitsmoment K
A				
B				

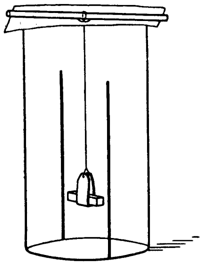

Fig. 223.

e) Lege den Magnetstab A sorgfältig wagerecht und mit dem Nordpol nach Norden in das Schiffchen des Schwingungsgehäuses (Fig. 223), bedecke das Glas mit der Papierscheibe, beobachte die Durchgänge aus 50 bis 100 cm Entfernung, bestimme dreimal aus der Zeit (t_1 sek) von 100 (N_1) Schwingungen seine Schwingungsdauer τ_1 und nimm aus den Ergebnissen das Mittel. Bestimme ebenso die Schwingungsdauer τ_2 des Magnetstabs B. Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnet	Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungsdauer $\tau = t/N$	Schwingungsdauer Mittel	$MH = 4\pi^2 K/\tau^2$
A					
B					

f) Berechne aus den Ergebnissen von (c) und (e) für beide Magnetstäbe die Produkte

$$P_1 = M_1 H = 4\pi^2 K_1/\tau_1^2 \quad \text{und} \quad P_2 = M_2 H = 4\pi^2 K_2/\tau_2^2.$$

g) Berechne das Verhältnis der magnetischen Momente der beiden Magnetstäbe $M_1/M_2 = K_1 \tau_2^2 / K_2 \tau_1^2$.

h) Frage den Lehrer, wie groß die Horizontal-Intensität an deinem Arbeitsplatz ist, und berechne aus den Ergebnissen von (f) die magnetischen Momente M_1 und M_2.

i) Stelle das Zeigermagnetometer so wie in Aufgabe 1 S. 304 auf und bestimme die Ablenkung φ_1, die der Magnetstab A in der *ersten Hauptlage* bewirkt, wenn seine Mitte 15 cm von der Mitte der Nadel absteht.

k) Wiederhole die Messung (i) mit dem Magnetstab B und bezeichne die Ablenkung, die er hervorruft, mit φ_2.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Abstand der Magnetmitte von der Nadelmitte $r = \ldots$ [cm].

Magnet	Stellung des Magnetstabes: Stablage	Zugewandter Pol	Zeigerablesungen: Ostspitze	Westspitze	Mittel	Ablenkungswinkel φ	$\frac{M}{H}$
A	östlich	N					
		S					
	westlich	N					
		S					

m) Ein Magnetstab, dessen Pole den Abstand $\mathfrak{l}$ cm haben und dessen Polstärke $\mathfrak{m}$ ist (Fig. 224), übt auf einen Pol von der Stärke $\mathfrak{m}'$, der von seiner Mitte in der Achsenrichtung r cm entfernt liegt, die Kraft aus

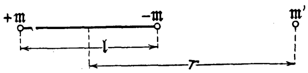

Fig. 224.

$$F = 2\mathfrak{l}\mathfrak{m}\mathfrak{m}' \frac{r}{(r^2 - \frac{1}{4}\mathfrak{l}^2)^2}.$$

Führt man das magnetische Moment $M = \mathfrak{m}\mathfrak{l}$ des Magnetstabes ein, so wird

$$F = \frac{2M\mathfrak{m}'}{r^3} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{4}\frac{\mathfrak{l}^2}{r^2}\right)^2}.$$

Ersetzt man den Pol $\mathfrak{m}'$ durch eine auf der Kraftrichtung senkrechte kurze Magnetnadel von der Länge $\mathfrak{l}'$ mit den Polen $\pm\mathfrak{m}'$, so wirken, wenn der Magnetstab senkrecht zum magnetischen Meridian steht, auf die Pole $\pm\mathfrak{m}'$ die Kräfte $\pm\mathfrak{m}'H$ und $\pm F$ ein und lenken die Nadel um den Winkel φ aus dem magnetischen Meridian ab. Das Drehmoment, das der Stabmagnet hervorruft, ist $F\mathfrak{l}' \cos\varphi$ und das

Drehmoment, das die Horizontalkomponente erzeugt, $\mathfrak{m}'H\mathfrak{l}' \sin\varphi$. Mithin ist $F = \mathfrak{m}'H \operatorname{tg}\varphi$ und, wenn wir für F seinen Wert einsetzen

$$\frac{M}{H} = \tfrac{1}{2} r^3 \left(1 - \tfrac{1}{4}\frac{\mathfrak{l}^2}{r^2}\right)^2 \operatorname{tg}\varphi.$$

n) Nimm an, daß der Polabstand ($\mathfrak{l}$ cm) des kurzen Magnetstabes gleich $^5/_6$ seiner Länge a cm ist, und berechne die Werte von M/H für beide Magnetstäbe.

o) Berechne aus den Ergebnissen von (n) das Verhältnis (M_1/M_2) der magnetischen Momente der Stäbe A und B und vergleich es mit dem Wert, der bei (g) erhalten worden ist.

p) Berechne mit dem Wert von H, der für deinen Arbeitsplatz gilt, die magnetischen Momente der Stäbe A und B und vergleiche sie mit den Werten, die bei (h) erhalten worden sind.

q) Aus dem Produkt $P = MH$ und dem Quotienten $Q = M/H$ ergibt sich $H^2 = P/Q$. Berechne aus den bei (f) und (n) erhaltenen zusammengehörigen Größen P_1, Q_1 und P_2, Q_2 die Werte von H und M und nimm aus beiden Ergebnissen das Mittel.

2. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch anstatt des Zeigermagnetometers ein Spiegelmagnetometer (vgl. S. 327) und anstatt der kurzen Magnetstäbe magnetisierte Stricknadeln von 7 bis 10 cm Länge, dazu

Linse ($f = 12$ cm).	Mikrometerschraube.
Lampe.	Dreieck.
Skala.	

Anleitung. r) Stelle das Spiegelmagnetometer (Fig. 225) so auf, daß die Vorderseite im magnetischen Meridian liegt. Richte mit den Stellschrauben das Instrument so aus, daß der Spiegel frei

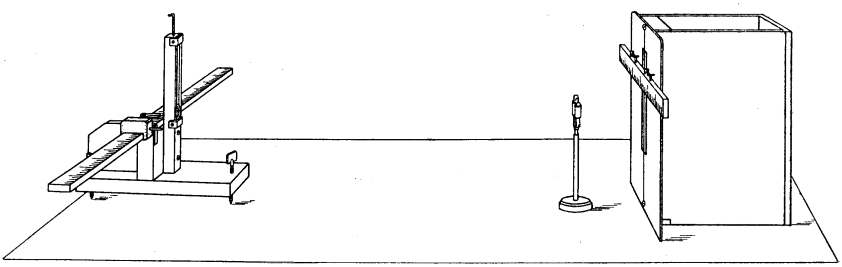

Fig. 225.

schwingt. Stelle dem Spiegel gegenüber und parallel dazu in $\sim$ 75 cm Abstand ungefähr in der Ebene, die die sich drehende Spiegelnormale beschreibt, die Skala auf und entwirf mit der Linse ein scharfes Bild des Drahtes auf der Mitte der Skala. Lege den einen Schenkel eines rechten Winkels so an die Skala an, daß die Sehlinie längs dem andern Schenkel den Spiegel trifft und prüfe, ob der Fußpunkt der Senkrechten vom Spiegel auf den mittlern Skalenteil trifft.

s) Setze den Kork mit dem Ablenkungsmagnet nördlich vom Spiegel auf den Maßstab. Die Achse des ruhenden Spiegelmagnets soll mit der Achse des Ablenkungsmagnets in einer Ebene liegen und in deren Mitte darauf senkrecht stehen. *Zweite Hauptlage.* Lies auf dem Maßstab den Abstand (~ 12 cm) der Mitte des Ablenkungsmagnets von der Mitte des Spiegels und auf der Skala die Verschiebung e_1 des Drahtbildes ab. Drehe den Ablenkungsmagnet um 180^0 und wiederhole die Messung (e_2). Setze nun südlich vom Spiegel den Ablenkungsmagnet genau in demselben Abstand wie vorher auf den Maßstab und miß die Verschiebung e_3 des Drahtbildes; lege den Magnet um und wiederhole die Messung (e_4). Bilde aus den vier abgelesenen Bildverschiebungen den Mittelwert e.

t) Wiederhole diese Messungen für noch zwei andre Abstände (11 und 10 cm) der Mitte des Ablenkungsmagnets von der Mitte des Spiegelmagnets.

u) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Spiegelmagnetometer Nr. . . . Skala Nr. . . . Länge des Magnets $a =$ . . . [cm]. Mittlerer Skalenteil . . . Abstand des Spiegels von der Skala $A =$ . . . [cm].

Abstand des Magnets vom Spiegel r cm	Stellung des Ablenkungsmagnets		Bildlage auf der Skala	Verschiebung des Bildes		$\operatorname{tg}\varphi = e/2A$	$\frac{M}{H}$
	Stablage	Nordpollage		e_ν	Mittel e		
	nördlich	östlich					
		westlich					
	südlich	östlich					
		westlich					

v) Miß sorgfältig den Abstand (A cm) des Spiegels von dem mittlern Skalenteil und ermittle, wenn die Skala nicht in Millimeter geteilt ist, die Länge eines Skalenteils. Ist $S_0S = e$ die Verschiebung des Drahtbildes (Fig. 226, S. 326), so besteht die Beziehung $\operatorname{tg} 2\varphi = e/A$. Aus $\operatorname{tg} 2\varphi = 2 \operatorname{tg}\varphi/(1 - \operatorname{tg}\varphi^2)$ folgt, wenn φ sehr klein ist,

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{e}{2A}.$$

w) Die Kraft, die der Magnetstab, dessen Pole den Abstand $\mathfrak{l}$ cm haben und dessen Polstärke $\mathfrak{m}$ ist, auf einen Pol von der Stärke $\mathfrak{m}'$ ausübt, der von der Mitte des Stabes den lotrechten Abstand r cm hat (Fig. 227), ist

$$F = \mathfrak{m}\mathfrak{m}' \frac{\mathfrak{l}}{(r^2 + \frac{1}{4}\mathfrak{l}^2)^{3/2}} = \frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^3} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4}\frac{\mathfrak{l}^2}{r^2}\right)^{3/2}}.$$

Hieraus ergibt sich ähnlich wie bei (m)

$$\frac{M}{H} = r^3 \left(1 + \frac{1}{4}\frac{\mathfrak{l}^2}{r^2}\right)^{3/2} \operatorname{tg} \varphi.$$

x) Miß die Länge (a cm) des Ablenkungsmagnets und berechne daraus seinen Polabstand $\mathfrak{l} = \frac{5}{6} a$.

y) Berechne aus den in (u) erhaltenen Werten den Quotienten $Q = M/H$.

z) Bestimme wie in (a) bis (f) das Produkt $P = MH$ für den Ablenkungsmagnet, beachte dabei, daß für den zylindrischen Magnet

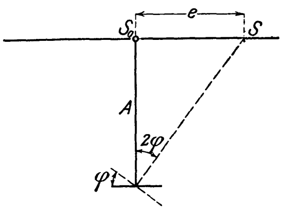

Fig. 226.

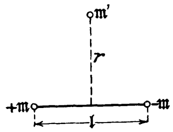

Fig. 227.

von der Länge a und dem Halbmesser ϱ das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Achse, die durch den Schwerpunkt und einen Kreisdurchmesser geht,

$$K = m\left(\tfrac{1}{12} a^2 + \tfrac{1}{4} \varrho^2\right)$$

ist. Berechne aus diesem Wert von P und dem bei (y) erhaltenen Wert von Q wie bei (q) die Horizontal-Intensität des Erdfeldes und das Moment des Magnets.

Bemerkungen. Über das Zeigermagnetometer vgl. S. 307.

Das Schwingungsgehäuse (Fig. 223) ist ein Glas, wie es zur Herstellung von Leydener Flaschen dient. Es ist 20 cm hoch und hat 12 cm Durchmesser. Auf zwei gegenüberliegenden Stellen der Wand ist je ein lotrechter Strich mit dem Schreibdiamanten eingeritzt oder ein Papierstreifen von 1 mm Breite geklebt. Ebenso breite Streifen kann man lotrecht auf die Stirnflächen der kurzen Magnete kleben. Der Magnet wird in ein kleines Schiffchen aus Karton gelegt, das an einem Bündel Kokonfäden hängt. Den leichten Magnet, den man beim zweiten Verfahren benutzt, hängt man in einer Watsonschen Doppelschleife (vgl. S. 105) auf. Den Aufhängefaden befestigt man an einem Glasstab, den man über den Rand des Gefäßes legt. Das Schiffchen soll $\sim$ 5 cm über dem Boden des Glases liegen. Luftströmungen hält man mit einer runden Papierscheibe ab. Man schneidet sie radial ein und aus der Mitte eine Öffnung von ~ 2 cm Durchmesser, damit man sie auf das Glas decken kann, ohne den Magnet in starkes Pendeln zu versetzen.

Das Spiegelmagnetometer ist nach den Angaben von J. T. Bottomley (Stewart-Gee *2, 37* und Hadley *219 Nr. 9*) gefertigt. Sein Bau ist aus Fig. 228 zu erkennen. Das Grundbrett steht auf drei Stellschrauben. In die Vorderseite des langen Pfostens ist eine Nute eingeschnitten, die sich in der Mitte zu einer flachen kreisförmigen, mit Kupferblech ausgefütterten Kammer erweitert, worin der Spiegel hängt. Auf die Rückseite des Spiegels ist ein kleiner Magnet gekittet, der aus Uhrfederstahl hergestellt ist. Der Spiegel hängt mit einem Faden aus ungesponnener Seide an einem Messingdraht, der sich in einem Korkstück verschieben läßt. Die Nute und die Kammer werden durch einen Glasstreifen geschlossen, dem

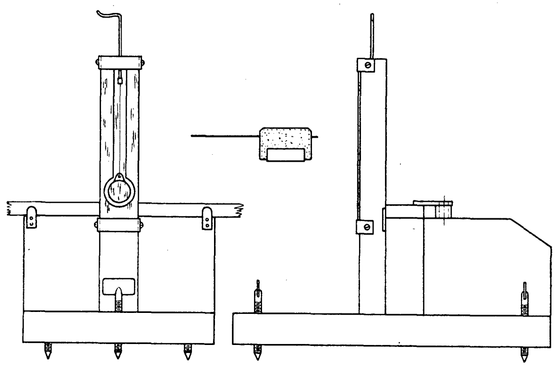

Fig. 228.

zwei Messingbügel als Führung dienen. Ein Holzriegel hält den Maßstab in seiner Stellung fest. Die Holzleiste, worauf der Riegel sitzt, soll so hoch sein, daß die Oberseite des Maßstabes etwas tiefer liegt, als die Achse des Spiegelmagnets. Die Achse soll mit der Achse des Ablenkungsmagnets, der mit einem Kork auf dem Maßstab befestigt wird, in einer Ebene liegen. Es ist ratsam, die Höhe des Spiegels über der Tischfläche so groß zu wählen, daß Lampe, Linse und Skala bei diesem Instrument und auch bei dem Spiegelgalvanometer bequem benutzt werden können. Über die objektive Spiegelablesung vgl. die Ausführungen über Galvanometer.

Die Ablenkungsmagnete für das zweite Verfahren stellt man auf folgende Weise her: Man bindet ~ 12 Stricknadeln mit Eisendraht zusammen, erhitzt sie in der Gebläseflamme zur Rotglut und läßt sie dann langsam abkühlen. Man zerschneidet sie nun in Stücke von 7 bis 10 cm Länge, feilt die Enden eben und richtet sie, wenn nötig, gerade. Jetzt bindet man die Stücke wieder zusammen, erhitzt sie zur hellen Rotglut und taucht sie sofort in kaltes Wasser. Man schmirgelt die Stäbchen ab und magnetisiert sie in einer Spule, durch die man einen elektrischen Strom sendet.

Zehnter Teil.

Galvanismus.

I. Allgemeines über galvanische Arbeiten.[1])

1. Stromquellen.

a) Einzelne Teile.

Amalgamieren des Zinks. Man macht das Zink mit einer alten Feile oder einem Schaber, weniger gut mit Schmirgelpapier, blank und taucht es einige Minuten in ein Gefäß mit verdünnter Salzsäure, bis lebhafte Gasentwicklung eintritt. Nun legt man es in eine flache Schale, wie sie die Photographen benutzen, gießt etwas Quecksilber darüber und bewegt es darin hin und her, bis die Oberfläche ganz glänzend aussieht. Dann stellt man das Zink wieder in die Säure und reibt die Oberfläche mit einem Lappen, Kork oder einer steifen Bürste. Hierauf nimmt man das Zink aus der Säure, spült es tüchtig mit Wasser ab und läßt es trocknen. Bei dem Amalgamieren schütze man die Hände durch ein Paar alte Lederhandschuhe oder besser durch Gummifinger, wie sie die Photographen benutzen.

Stewart und Gee *(2, 55)* entfernen vor dem Eintauchen des Zinks in die Säure etwa vorhandene Fette, indem sie das Zink in ein Gefäß mit verdünnter Natronlauge (1 Gwt. Natriumhydroxyd auf 20 Gwt. Wasser) eintauchen und dann mit Wasser abwaschen.

In den chemischen Kursen in der Alten Urania wird zum Amalgamieren eine Lösung benutzt, die Lüpke nach folgender Vorschrift hergestellt hat: Man löse 200 gr Quecksilber in 250 gr gewöhnlicher Salpetersäure und 750 gr rauchender Salzsäure und setze dann noch 1000 gr dieser Salzsäure hinzu. Das Lösen und Amalgamieren muß im Freien oder unter dem Abzug stattfinden. Die Lösung hebt man in einer weithalsigen Flasche mit Glasstöpsel auf oder in einem Akkumulatorglas, das oben eben geschliffen und mit einer Glasplatte bedeckt ist.

---

[1]) Vgl. hierüber auch: Kohlrausch, Ostwald-Luther, Stewart-Gee, Strecker, Wiedemann-Ebert.

NICHOLS, SMITH und TURTON *(278)* benutzen eine Lösung von 5 cm^3 Quecksilber in einer Mischung von 60 cm^3 Salpetersäure und 210 cm^3 Salzsäure.

Tonzellen. Man spüle sie nach dem Gebrauch tüchtig aus und lege sie dann längere Zeit in Wasser. Für das Wässern schaffe man einen besondern Trog an. Hat jemand die Zelle, ohne sie zuvor zu wässern, trocknen lassen, so ist es ratsam, sie tüchtig in Wasser auszukochen.

Beim Ansetzen einer Kette soll man die Zelle zuerst mit der Schwefelsäure befeuchten. Man fülle so viel Schwefelsäure ein, daß deren Höhe um $^1/_{10}$ oder $^1/_5$ größer ist als die Höhe der schwerern andern Flüssigkeit.

Schwefelsäure. Man verwendet verdünnte Säure von höchstens 1,06 gr/cm^3 Dichte, man nimmt also $\sim$ 50 cm^3 reine Schwefelsäure

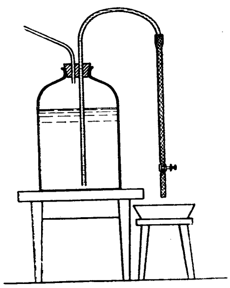

Fig. 229.

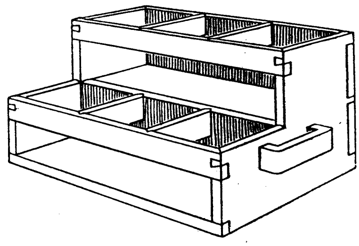

Fig. 230.

auf 1000 cm^3 Wasser. Man gieße beim Mischen die Säure langsam und unter Umrühren ins Wasser.

Alle Chemikalien, die man in größern Mengen gebraucht, wie verdünnte Schwefelsäure, destilliertes Wasser usw. bewahre man außerhalb des Arbeitsraums in sehr großen Flaschen (Ballons) auf, die man mit Anblasehebern versieht und auf einem recht festen Tisch aufstellt (Fig. 229).

Zieht man es vor, für jeden Schüler eine besondere kleinere Flasche zu halten, so bedarf man eines Tragekastens (Fig. 230). Vgl. H. HAHN, *Phys. Schülerübungen, Abhandl. zur Didaktik und Philosophie 1, 332.*

Cuprisulfatlösung. Man verwende eine gesättigte Lösung (Dichte $\sim$ 1,2 gr/cm^3) und nehme also $\sim$ 1 gr kristallisiertes Salz auf 3 gr Wasser.

Chromsäure. Vgl. KOHLRAUSCH[10] *376.*

b) Ketten.

Bei den Schülerübungen kommen, wenn man Gelegenheit zum Laden hat, Bleisammler, Danielle, Beutelketten und Trockenketten in Frage. Hat man keine Gelegenheit, Bleisammler wieder aufzuladen, so muß man an ihrer Stelle Cupronketten (vgl. OSTWALD-LUTHER *318*), Trockenketten und etwa auch Chromsäureketten (vgl. KOHLRAUSCH[10] *377*) verwenden. Bei einigen Übungen wird man auch heute noch ungern die Daniellsche Kette entbehren. Will man sie durch Bleisammler ersetzen, so verschafft man sich in den Fällen, wo die Spannung des Sammlers zu groß ist, die erforderliche geringere Spannung durch Abzweigung (vgl. S. 397).

1. Daniell. Sie haben 1,08 bis 1,12 V. Der Widerstand der gebräuchlichen Größen liegt zwischen 0,6 und 0,3 Ohm. Nach der Zusammensetzung nimmt zunächst die elektromotorische Kraft etwas ab. Man schließe daher nach dem Ansetzen die Kette einige Zeit mit einem Widerstand kurz, der etwa so groß ist wie der des künftigen Stromkreises. Die Zink- und Kupferplatten der käuflichen Ketten lassen zuweilen sehr viel zu wünschen übrig, man verwende daher gutes Kupferblech und statt der gegossenen Zinkkreuze Zinkbleche von 4 mm Stärke. Nach dem Gebrauch nehme man die Ketten sofort auseinander.

Über Daniellsche Standketten vgl. KOHLRAUSCH[10] *376*.

2. Beutelketten. Es sind Braunsteinketten. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in der Alten Urania hat sich das „Gnom-Element“ durchaus bewährt. Seine elektromotorische Kraft ist anfangs 1,65 V. Haben sich viele Kristalle von Chlorzinkammonium angesetzt, so fügt man ein wenig Salzsäure hinzu, worin sie sich bald auflösen. Ist die Kette erschöpft, so gießt man die Flüssigkeit weg und füllt (bei der gebrauchten Größe) das Glas mit einer Lösung von 30 gr reinem Ammoniumchlorid in Wasser. Alle Teile der Kette sind einzeln käuflich.

Man benutzt die Kette bei solchen Versuchen, wo nur schwächere Ströme (bis zu 0,1 A) erforderlich sind und es auf Unveränderlichkeit der Spannung nicht sehr ankommt.

3. Trockenkette. In der Alten Urania haben sich die neuen Trockenelemente von SIEMENS & HALSKE, Type T, recht gut bewährt. Die elektromotorische Kraft ist 1,5 V. Bei den Schülerübungen kommen in Frage: T 1 (Größe 10 cm $\times$ 10 cm $\times$ 19,7 cm, innerer Widerstand 0,10 Ohm, Preis 3,25 M.) und T 2 (Größe 7,6 cm $\times$ 7,6 cm $\times$ 18,2 cm, innerer Widerstand 0,15 Ohm, Preis 2,10 M.). Sie werden unter denselben Bedingungen wie die Beutelketten benutzt, doch kann man sie zuweilen auch als Ersatz für Sammler verwenden.

3. Bleisammler. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium werden seit vielen Jahren benutzt die „Telegraphenelemente“ der AKKUMULATOREN-FABRIK-AKTIENGESELLSCHAFT, Berlin NW., Luisenstraße 31 a. Es sind je zwei Elemente (13 cm $\times$ 16,5 cm $\times$ 24,5 cm) in einem gemeinsamen Holzkasten mit Handgriffen eingebaut (Type PO 17). Diese Sammler haben sich ausgezeichnet bewährt. Die Kontaktstöpsel und Anschlußkabel der üblichen Form sind für

Schülerübungen nicht zweckmäßig. Man lasse die Pole jedes Sammlers durch Leitungen mit Klemmschrauben (2 Löcher) auf dem Holzkasten verbinden, so daß man bequem jeden Sammler einzeln benutzen kann.

Recht bequem ist auch der Meßsammler, den die Alte Urania von Fritz Köhler zu Leipzig (Nr. 991, Preis 7,50 M.) bezogen hat. Er eignet sich trefflich zu vielen Meßzwecken, doch gestattet er nicht, größere Stromstärken als 1,2 A zu entnehmen.

Nach Ostwald-Luther *(317)* haben sich im Leipziger physikalisch-chemischen Institut die Sammler von Pollack zu Frankfurt a. M. durch ihre Unverwüstlichkeit ausgezeichnet bewährt.

Über die Pflege und Benutzung der Sammler vgl. Kohlrausch[10] *379* und Ostwald-Luther *317*.

2. Stromverbindungen.

a) Leitungen. Man benutzt doppelt mit Baumwolle besponnenen und gewachsten Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser. Er verträgt eine dauernde Belastung von $\sim$ 3 A und das Meter hat $\sim$ 0,03 Ohm Widerstand. Für 10 A genügt ein Draht von 1,5 mm Durchmesser. Liebt man es, die Drähte spiralig zu wickeln, so hebe man sie auf einem Gestell auf, wie es in Fig. 231 abgebildet ist. Man stecke auf einige Stäbe Glasröhren von 30 cm Länge und 2 cm Durchmesser; sie dienen zum gleichmäßigen Wickeln der Drähte. Sind die Drähte doppelt umsponnen, so lasse man nach dem Abschneiden eines Stückes die Enden jeder Lage gesondert abwickeln und die beiden so erhaltenen Bänder fest zusammenknoten. Man verhindert so das häßliche Herumhängen der Isolierungsfasern.

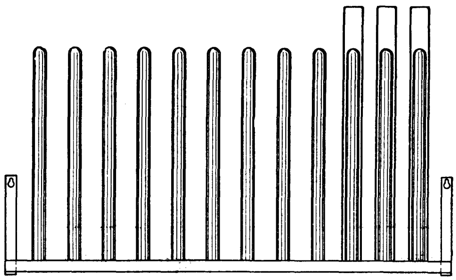

Fig. 231.

Dauerhafter und bequemer als Drähte sind Leitungsschnüre. In der Alten Urania werden Schnüre verwendet, an deren Enden kurze dicke Kupferdrähte gelötet sind. Um die Lötstellen ist Isolierband gewickelt und festgebunden. Für die meisten Versuche genügen Schnüre von 1 mm Durchmesser, nur ganz selten ist ein Durchmesser von 2 mm erforderlich. Man gebraucht für jede Arbeitsgruppe je 6 Schnüre von 15, 30 und 60 cm Länge und je 3 Schnüre von 100, 150 und 200 cm Länge.

Sehr biegsame Kupferschnüre mit verschiedenartigen Verbindungsenden liefert Fritz Köhler zu Leipzig.

Die Schnüre bewahrt man auf Gestellen auf, von denen eins in Fig. 232 abgebildet ist, die 15 cm langen Schnüre jedoch in Kästen.

Man halte streng darauf, daß die Schüler vor jeder Verbindung die Enden der Drähte und Schnüre blank schaben oder schmirgeln.

b) Klemmschrauben. Man gebraucht für jede Gruppe ~ 6 Klemmen mit 2 Durchbohrungen, die bei dreien achsial und bei den drei andern quer verlaufen, ferner 4 Polklemmen mit einer radialen Durchbohrung, Spannfläche und angedrehtem Gewindezapfen zum Einschrauben in Holz, außerdem 4 Platten-Polklemmen, die einen Schlitz und Klemmschraube für Bleche bis 2 mm Dicke und eine Durchbohrung und Schraube für Drähte haben, und zum Einspannen dünnerer Drähte und Bleche noch 4 Polklemmen mit 2 Spannflächen (Ostwald-Luther *320*). Die Durchbohrungen sollen bequem Drähte von 2 mm Stärke fassen. Man achte darauf, daß die Schrauben unten nicht spitz sind, da sie sonst die Drähte durchschneiden, und daß sie beim Niederschrauben die Löcher völlig schließen. Sauber gearbeitete, polierte und vernickelte Klemmen der mannigfachsten Formen liefert Fritz Köhler zu Leipzig.

c) Taster. Man kann sie, wenn man keinen Druckknopf benutzen will, leicht selbst herstellen. Auf einen Holzklotz (10 cm × 5 cm × 1,5 cm), der in Öl oder Paraffin ge-

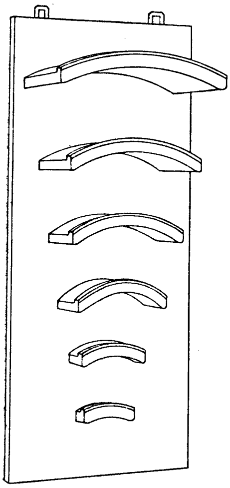

Fig. 232.

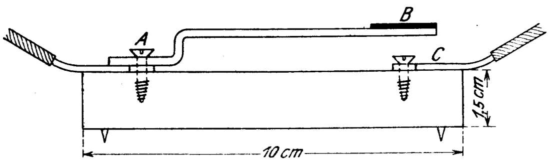

Fig. 233.

kocht und unten mit Spitzen versehen ist, befestigt man mit einer Holzschraube A einen Streifen aus federhartem Messing (8 cm × 1 cm × 0,05 cm), der wie in Fig. 233 gebogen ist. Zwischen den Messingstreifen und das Holzbrett klemmt man das umgebogene Ende eines ~ 1 mm starken Kupferdrahtes. Genau unter dem andern Ende B des Streifens, das oben mit Siegellack überzogen ist, schraubt man mit einer flachköpfigen Holzschraube C einen zweiten Kupferdraht fest. Der Abstand zwischen B und C betrage ~ 0,5 cm. Am besten verwendet man Schrauben, die man auf der Unterseite des Grundbrettes mit einer versenkten Mutter befestigen kann. Die Löcher gießt man mit Wachs aus. Zweckmäßig ist es, statt der Schraube A eine Polklemme mit Befestigungsschraube zu verwenden und C mit einer Klemme zu verbinden, die man neben A einschraubt. Ein fester und einfacher Taster ist bei OSTWALD-LUTHER *321* beschrieben.

Bringt man auf demselben Grundbrett nebeneinander zwei Taster an, so kann man damit beim Arbeiten mit der WHEATSTONEschen Brücke Stromprüfer und Kette bequem in der richtigen Weise ein- und ausschalten (ABRAHAM *2, 361 Nr. 172*).

Verbindet man die Schrauben *A* (Fig. 233) der beiden nebeneinanderliegenden Taster durch einen Kupferdraht miteinander, so erhält man einen Dämpfungsschlüssel (ABRAHAM *2, 294 Nr. 124*). Einen andern einfachen Dämpfungsschlüssel geben AMES-BLISS *(496)* an (Fig. 234). Er besteht aus zwei schrägen Drahtfedern *A*, die sich beim Niederdrücken zwischen zwei wagerechten

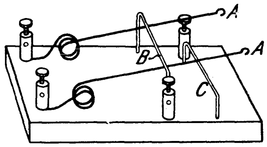

Fig. 234.

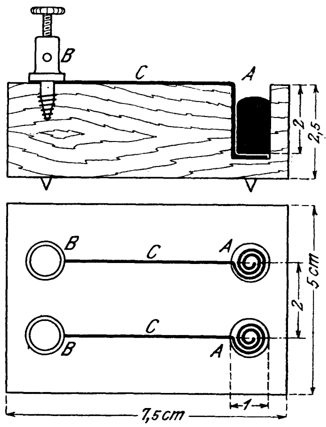

Fig. 235.

Drähten *B* und *C* bewegen. Der Schließungskreis liegt an den Federn und die Batterie an den wagerechten Drähten. Drückt man die eine Feder hinab, so daß sie den untern wagerechten Draht *C* berührt, während die andre Feder an dem obern wagerechten Draht *B* liegt, so fließt der Strom in einem bestimmten Sinn durch die Außenleitung. Drückt man die andre Feder hinab, während die erste den obern Draht *B* berührt, so wird die Stromrichtung umgekehrt.

Bei den mitgeteilten Übungen und den benutzten Galvanometern ist jedoch ein Dämpfungsschlüssel entbehrlich.

d) Ausschalter. Man kann sie in der mannigfachsten Weise selbst herstellen. Man bohre in einen Klotz (7,5 cm $\times$ 5 cm $\times$ 2,5 cm) aus hartem Holz, das in Öl oder Paraffin gekocht worden ist, zwei Löcher *A* (Fig. 235) von 0,6 bis 1 cm Weite und 2 cm Tiefe, schraube ferner zwei Klemmen *B* in den Klotz und verbinde sie durch zwei Kupferdrähte *C* von 1 mm Stärke mit den Näpfen *A*. Man entferne, wenn der Draht isoliert ist, die Isolierung von dem Ende, das in den Napf eingetaucht werden soll, mache den Draht blank, gebe ihm die Gestalt einer flachen Spirale, amalgamiere diese gut und setze sie dann in den Napf ein. Den Napf füllt man zur Hälfte mit Quecksilber.

Man kann die festen Klemmen auch weglassen, den Draht außerhalb des Napfes rechtwinklig umbiegen und mit zwei Krammen auf der Oberseite des Klotzes befestigen (Fig. 236), oder wie in Fig. 237, die Drähte mit einer Holzleiste (1,3 cm $\times$ 1,3 cm $\times$ 5 cm) und einer Schraube gegen den Klotz klemmen (Allen *230*). Worthington *(286)* gibt dem Ausschalter die in Fig. 238 abgebildete Gestalt. In den beiden Näpfen sitzt ein Bügel (Fig. 239) aus 2 mm starkem Kupferdraht, der in der Mitte mit Siegellack überzogen ist, dessen blanke Enden jedoch gut amalgamiert sind.

Wesentlich verbessert man den Ausschalter, wenn man den Holzklotz mit einem Rande, der das verspritzte Quecksilber zusammen-

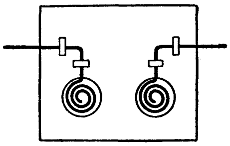

Fig. 236.

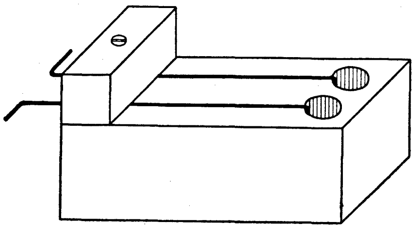

Fig. 237.

hält, und auf der Unterseite in den Ecken mit 4 kleinen Spitzen versieht. Man kann den Klotz auch in eine kleine Photographenschale setzen und, anstatt die Enden des Drahtes C (Fig. 235) spiralig zu gestalten, auf den Boden der Näpfe gut amalgamierte Kupferscheiben legen, auf die man die Drähte beim Eintauchen in das Quecksilber fest andrückt. Die Näpfe lassen sich verbessern, indem man in die Löcher des Holzklotzes Glasröhrchen, die unten zugeschmolzen sind, Tuschnäpfchen, ausgeglühte eiserne Fingerhüte oder Stockzwingen einsetzt.

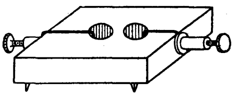

Fig. 238.

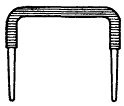

Fig. 239.

Einen ganz einfachen Ausschalter erhält man, wenn man in einen Holz- oder Paraffinklotz ein Loch von der oben angegebenen Größe bohrt und auf den Boden ein Korkscheibchen legt oder einen Kork mit einem Korkbohrer bis zur Mitte ausbohrt und ihn dann mit Siegellack auf ein Holzbrett oder dergleichen kittet. Die Enden der Zuführungsdrähte muß man spitz zufeilen und gut amalgamieren; sie werden in dem Kork festgespießt. Ostwald-Luther *322.*

Hat man Stromwender mit drei oder vier Näpfen, so kann man die Quecksilberausschalter mit einem oder zwei Näpfen entbehren.

e) Amalgamieren von Kupferdrähten. Man gieße in eine weithalsige Flasche mit Glasstopfen Quecksilber und darüber eine Schicht Merkuronitrat, das mit Salpetersäure angesäuert ist. Will man einen Kupferdraht amalgamieren, so tauche man ihn durch diese

Schicht hindurch in das Quecksilber ein, spüle ihn tüchtig ab und reibe ihn blank. Man kann auch die oben S. 328 angegebene Amalgamierungsflüssigkeit verwenden. Ist der Draht gut amalgamiert, so muß man mit den Drahtenden einen kleinen Quecksilbertropfen aufheben können. Amalgamierungen muß man häufig erneuern.

f) Quecksilbertropfgefäße. Zum Füllen der Quecksilbernäpfe bedarf man bequemer Tropfgefäße. Das von Grimsehl *(Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 18, 34; 1905)* angegebene Gefäß und seine von Hintze abgeänderte Form, die in der Alten Urania verwendet wird, haben den Nachteil, daß sie sich nur schwer reinigen lassen. Es verdienen daher wohl die von Ostwald-Luther *(324)* angegebenen Flaschen den Vorzug. Weniger zerbrechlich, wenn auch teurer sind die alten bequemen Büchsen aus Buchsbaumholz (Lehmann-Frick *1, 1, 578*), die auch am Dorotheenstädtischen Realgymnasium im Gebrauch sind.

Sehr empfehlenswerth sind Quecksilberzangen, die ermöglichen, die kleinsten verspritzten Quecksilberkügelchen mit Leichtigkeit aufzuheben. Über Quecksilberbretter vgl. S. 176.

g) Stromwender mit vier Näpfen (Fig. 240). In einem Holzbrett (10 cm $\times$ 10 cm $\times$ 1,2 cm), das mit einem Rand und vier Bodenstiften versehen ist, sind vier Löcher eingebohrt, die die Ecken eines Quadrats von 4,5 cm Seitenlänge bilden. In die Löcher sind Glasnäpfchen eingesetzt und durch Kupferdrähte und Bleche mit 4 Klemmen verbunden, von denen zwei gegenüberliegende mit zwei Durchbohrungen oder einer Durchbohrung und einer Spannfläche versehen sind. Zwei Kupferbügel, deren amalgamierte Enden in die Näpfe tauchen, sind an einer Holzleiste (6,5 cm $\times$ 2 cm $\times$ 1 cm) befestigt. Zweckmäßig ist es nach Ostwald-Luther *(323)* in der Mitte der Holzleiste eine Glasröhre einzukitten und diese über einen Stift zu schieben, der in der Mitte des Holzbrettes angebracht ist. Einen Stromwender ähnlicher Bauart liefert Fritz Köhler zu Leipzig. Die Näpfe füllt man zur Hälfte mit Quecksilber und verbindet die Klemmen *AA* (Fig. 241) mit den Enden des Schließungskreises und die Klemmen *BB* mit

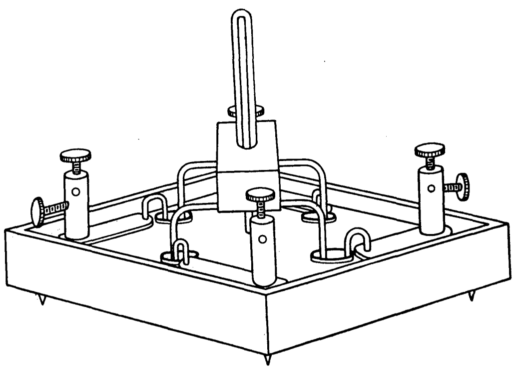

Fig. 240.

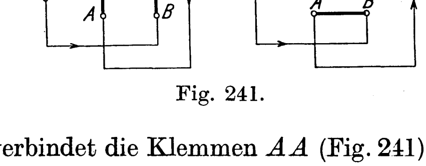

Fig. 241.

den Drähten der Stromquelle. Durch Drehen der Bügel um 90° kann man den Strom in dem Schließungskreis wenden. Füllt man nur zwei Näpfe mit Quecksilber, so kann man den Wender als Ausschalter benutzen.

h) Stromwender mit drei Näpfen. Dieser einfache Wender von Ayres *(113)* ist in Fig. 242 abgebildet. A, B und C sind die 3 Näpfe und D ist der Bügel.

i) Wippe. In ein paraffiniertes Holzbrett (15 cm × 7 cm × 2,5 cm), das mit einem Rand und Fußspitzen versehen ist, sind 6 Löcher eingebohrt und in diese Näpfchen aus Glas, Steingut oder Eisen 1, 2, 3, 4, 5 und 6 (Fig. 243) eingesetzt. Die Näpfe sind durch Kupferdrähte mit den Klemmen k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 und k_6 verbunden, die zwei Durchbohrungen oder eine Durchbohrung und eine Spannfläche haben. Die

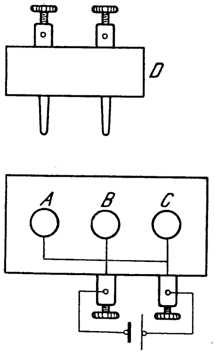

Fig. 242.

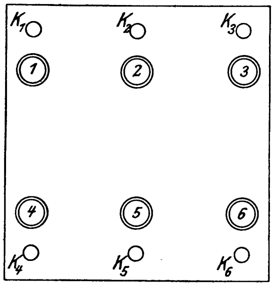

Fig. 243.

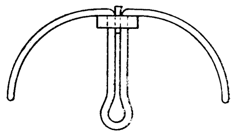

Fig. 244.

Näpfe 1 und 6 und die Näpfe 3 und 4 sind kreuzweise durch 2 mm starke Kupferdrähte verbunden, die voneinander isoliert durch einen Kork oder ein Ebonitstück hindurchgehen. Das Kreuz läßt sich leicht entfernen. Der Wippenbügel (Fig. 244) besteht aus zwei Kupfer-

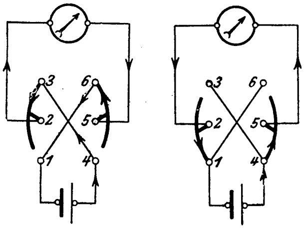

Fig. 245.

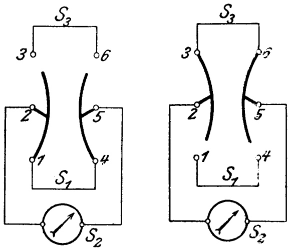

Fig. 246.

drähten von 3 mm Durchmesser die durch eine paraffinierte Holzleiste (7 cm × 4 cm × 1 cm) hindurchgeführt und darin durch zwei hölzerne Bolzen festgehalten werden (Abraham *2, 537 Nr. 168*). Der Bügel kann durch eine Stellfeder festgehalten, und daher die Wippe zugleich als Unterbrecher benutzt werden.

Die Wippe, die die Anschaffung von Ausschalter und Stromwender überflüssig macht, dient zu zwei Zwecken, zum Wenden des Stromes und zum Verbinden zweier Stromkreise mit einem dritten Stromkreis. Fig. 245 zeigt, wie die Wippe als Stromwender benutzt wird, und Fig. 246, wie man damit die beiden Stromkreise S_1 und S_3 mit dem Stromkreis S_2 verbinden kann.

3. Widerstände.

a) Stromschwächer.

1. Gleitwiderstände. In eine Holzleiste (106 cm $\times$ 4,5 cm $\times$ 1,5 cm) sind in 1 m Abstand zwei Klemmen mit je zwei Durchbohrungen und einer Spannfläche eingeschraubt. Zwischen den Spannflächen wird ein blanker Manganindraht ausgespannt (Fig. 247). Der

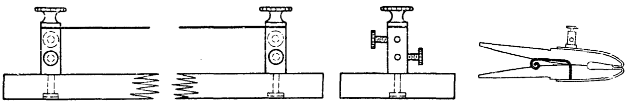

Fig. 247.

Strom wird der einen Endklemme zugeführt und mit einer verschiebbaren VOLKMANNschen Klemme abgenommen. Man schaffe sich Spulen mit Manganindraht von 0,2, 0,3 und 0,5 mm Durchmesser an.

Manganin.

Drahtdurchmesser in mm	Widerstand eines Meters in Ohm	Größte Belastung in A (Drahtwärme 95°)
0,2	12,4	0,6
0,3	5,94	1,0
0,5	2,14	1,8

Man kann die Drähte einige Zeit erheblich überlasten. Diese Widerstände haben sich in der Alten Urania ausgezeichnet bewährt.

Schaltet man zwei Widerstände parallel, so ist der Widerstand der Verzweigung geringer als der kleinere der beiden Widerstandszweige. Da eine verhältnismäßig beträchtliche Änderung des größern der beiden Widerstandszweige einen geringen Einfluß auf die Stromstärke hat, so stellt man eine erforderliche Stromstärke zunächst durch Änderung des kleinern Widerstandes grob und dann durch Änderung des größern Widerstandes fein ein.

2. Flüssigkeitswiderstände. Sie sind recht bequem und bei einigen Versuchen empfehlenswert.

Für geringe Stromstärke nehme man einen Standzylinder von

40 cm Höhe und 3,5 cm Durchmesser (Fig. 248) und kitte ihn, um seine Standfestigkeit zu erhöhen, in einen größern Holzfuß ein. Man schneidet die Elektroden E_1 und E_2 aus Kupferblech, lötet an den Rand von E_1 das Ende eines mit Guttapercha gut isolierten Kupferdrahtes, den man noch mit Paraffin überziehen kann, und an die Mitte der beweglichen andern Elektrode E_2 einen blanken 2 mm starken Kupferdraht. Die Elektrode E_1 stellt man auf den Boden des Zylinders. Den Draht der Elektrode E_2 führt man durch eine Verbindungsklemme K, deren untere Schraube man entfernt hat, und setzt die Klemme in einen paraffinierten Kork S ein, mit dem man die Mündung des Zylinders verschließt. Als Flüssigkeit dient eine 10prozentige Lösung von Cuprisulfat. Da nach ABRAHAM *(2, 249 Nr. 80)* bei dieser Lösung die Stromstärke 6 A für 100 cm² der Elektrodenfläche nicht übersteigen und die vom Wider-

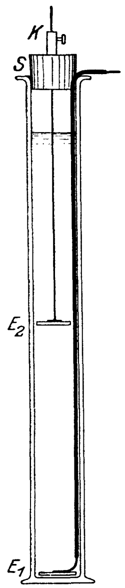

Fig. 248.

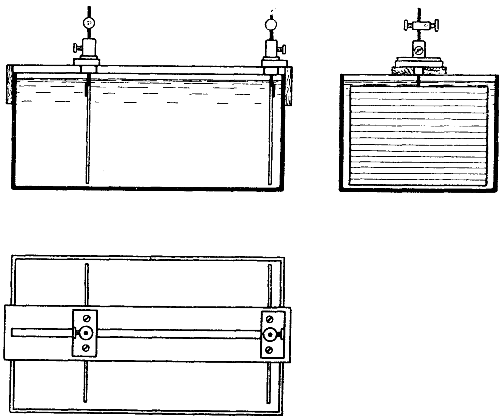
Fig. 249.

stand vernichtete Leistung 10 Watt für 100 cm² der abkühlenden Oberfläche nicht überschreiten darf, so kann dieser Widerstand 0,5 A bei 80 V aushalten. Man ändert den Widerstand, indem man die Länge der Flüssigkeitssäule oder den Gehalt des Elektrolyten ändert.

Aus einem Sammlertrog (30 cm $\times$ 16 cm $\times$ 15 cm) kann man einen Widerstand herstellen, der 15 A bei 15 V verträgt (Fig. 249). Man legt über den Rand des Gefäßes eine paraffinierte Holzleiste mit 1 cm breitem Schlitz, die an den Enden mit kurzen Führungsbrettchen versehen ist. An die Kupferelektroden (12 cm $\times$ 12 cm) lötet man 2 mm starke Kupferdrähte, die man durch achsial durchbohrte Klemmen steckt, die auf kleinen längs der Leiste verschiebbaren Holzbrettchen sitzen.

Man kann auch Zinkelektroden benutzen, die in eine Zinksulfatlösung eintauchen, und statt der Glasgefäße ausgepichte Holztröge verwenden.

3. Kohlewiderstände. Sie haben sich am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in der Alten Urania nicht bewährt; sie verhielten sich ganz launenhaft.

4. Große Widerstände. Man erhält sie, indem man auf einer matten Glasplatte oder auf einer Ebonitplatte mit einem Bleistift oder auf einer recht saubern Glasplatte mit einem Aluminiumstift einen zickzackförmigen Strich zieht. Die Leitungsdrähte befestigt man an Plattenklemmen und sorgt durch Unterlegen von Stanniol für eine gute Berührung zwischen dem Strich und dem Schraubenende. Man kann auch die Enden der Striche galvanisch verkupfern, indem man sie unter einer Cuprisulfatlösung mit der Kathode berührt. Das Abgleichen geschieht durch Verbreitern oder Abwischen des Striches, wobei man öfters heftig abklopft oder mit trockner Luft abbläst.

Über die Herstellung von Platinwiderständen vgl. OSTWALD-LUTHER *357*.

b) Widerstandsätze.

Für die Übungen genügt ein Widerstandsatz, der von 1 bis 200 Ohm reicht. Er besteht aus einem Grundbrett von 25 cm × 10 cm × 2,5 cm,

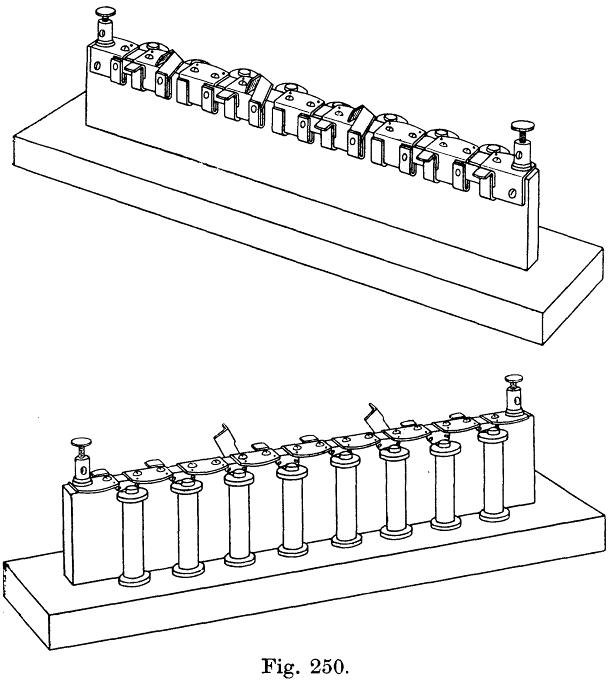

Fig. 250.

auf dem in der Mitte ein Brett von 5 cm Höhe steht (Fig. 250). Auf der einen Seite des Brettes sind 10 bifilar gewickelte Spulen von 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100 und 200 Ohm Widerstand angebracht. Die Enden der Drähte sind zu Messingriegeln geführt, die ein bequemes und sicheres Ein- und Ausschalten der einzelnen Widerstände gestatten. Bei den jetzt angefertigten Widerstandsätzen werden die Spulen durch Niederdrehen einer Schraube eingeschaltet, vor der die Ohmzahl der Spule steht. Die Berührungsstellen reinigt

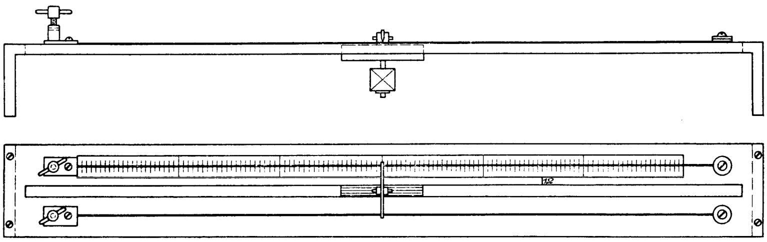

Fig. 251.

man durch Abreiben mit einem Lederlappen oder mit einem Leinenlappen, den man mit etwas Petroleum befeuchtet hat. Die Stromstärke, die durch eine Spule von W Ohm hindurchgeschickt wird, darf $0{,}3/\sqrt{W}$ nicht übersteigen; nur kurze Zeit kann man ohne Gefahr den Widerstand mit dem 5- bis 10fachen Strom belasten.

Über die Selbstherstellung von Widerstandsätzen vgl. Ostwald-Luther *354* und Abraham *2, 237 Nr. 70.*

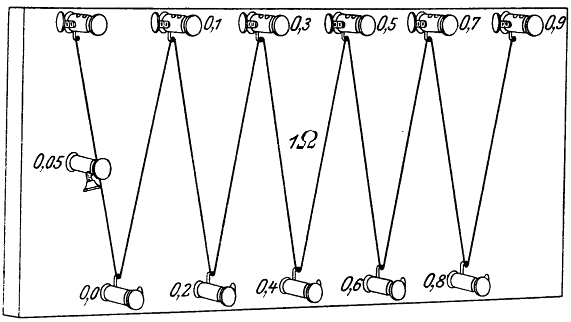

Fig. 252.

Es ist nicht ratsam, in den Widerstandsatz noch Spulen von 0,1, 0,2 und 0,5 Ohm einzufügen. Man verschafft sich die Bruchohm auf einem der folgenden Wege:

1. Man spannt auf einem Meterstab zwischen zwei Klemmen einen Manganindraht von 0,7 mm Durchmesser aus, der eine größte Belastung von $\sim$ 2,6 A zuläßt, und bestimmt genau die Länge des Drahtes, dessen Widerstand 1 Ohm ist. Mit Hilfe der Gefälldraht-

schneide (vgl. S. 413) kann man dann bequem Bruchteile eines Ohms einschalten.

Empfehlenswerter ist es, den Maßstab auf zwei Klötze zu legen und eine verschiebbare Schneide zu verwenden, die an ihren Enden zu beiden Seiten des Maßstabes mit angeschraubten Bleiklötzen belastet ist. Einen der Klötze versieht man mit einer Verbindungsklemme.

2. Auf einem Holzbrett (75 cm × 9 cm × 1 cm), das in der Mitte geschlitzt ist und auf zwei Fußbrettern (6 cm × 9 cm × 2 cm) steht, sind längs der Teilung aus Papier zwei Manganindrähte von 0,7 mm Durchmesser ausgespannt. Ein angeschraubter Bleiklotz drückt eine bewegliche Metallschneide fest gegen die Drähte. Die Schneide sitzt an einem Führungsbrettchen, das in dem Schlitz verschiebbar ist (Fig. 251). Man bestimmt den Teilpunkt der Skala, der dem Widerstand 1 Ohm entspricht und kann dann mit dieser Vorrichtung Bruchteile des Ohms messen.

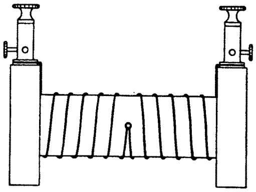

Fig. 253.

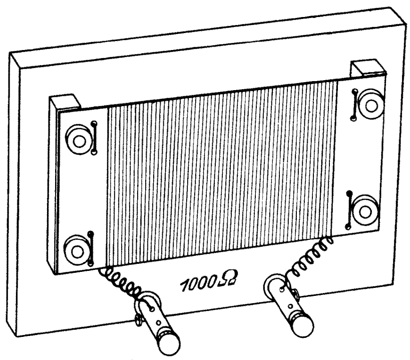

Fig. 254.

3. Man spannt auf einem gefirnißten Brett einen Manganindraht, der genau 1 Ohm Widerstand hat, im Zickzack so aus, daß 10 Teile von gleicher Länge entstehen und bringt an jeder Ecke und in der Mitte des ersten Drahtstückes eine Klemmschraube an (Fig. 252). Diese Vorrichtung gestattet die Einschaltung von Widerständen zwischen 0,05 und 1 Ohm in Stufen von 0,05 Ohm. Bower-Satterly *344*.

Einzelnen Widerstandspulen von bestimmter Ohmzahl, die eine höhere Belastung vertragen sollen, gibt man am besten die in Fig. 253 abgebildete Gestalt. Die Anschlußklemmen sollen zwei Durchbohrungen oder eine Durchbohrung und eine Spannfläche haben.

Sehr zu empfehlen sind die Glimmerplatten-Widerstände, die von 1000 Ohm aufwärts die Gebr. Ruhstrat zu Göttingen herstellen. Fig. 254 stellt eine montierte Platte dar.

4. Galvanometer.

Vgl. Armagmat. Ayrton. Kohlrausch. E. Mascart, *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*[2]. Ostwald-Luther. Stewart-Gee. Weiler, *Prakt. Elektriker*. Wiedemann-Ebert.

a) Wahl der Galvanometer.

Eine der schwierigsten Aufgaben des Leiters von Schülerübungen ist die Wahl eines Galvanometers, das den verschiedenen Zwecken am besten entspricht, und dessen Preis bei bescheidenen verfügbaren Mitteln noch erschwingbar ist.

Bei den Übungen gebraucht man Galvanometer im wesentlichen zu drei Zwecken:

1. zur Messung von Stromstärken,
2. zur Messung von Spannungen und
3. zum Nachweis der Stromlosigkeit.

Alle Galvanometer sind Strommesser; sie messen die Stärke des Stromes, der durch ihre Spulen fließt. Das Galvanometer muß so empfindlich sein, daß man die Ströme, die man bei den Versuchen durch seine Spule sendet, mit Sicherheit messen kann.

Will man bei Nullverfahren die Stromlosigkeit eines Stromzweiges nachweisen, so muß das Instrument, der Stromprüfer, noch für ganz schwache Ströme sehr empfindlich sein.

Bildet man aus einer Stromquelle von der elektromotorischen Kraft E und einem Galvanometer vom Widerstand γ einen einfachen Stromkreis, dessen Widerstand mit Ausschluß des Galvanometerwiderstandes gleich W ist, so besteht, wenn J die Stromstärke bezeichnet, die Gleichung

$$E = J\,(W + \gamma).$$

Es sind nun drei Fälle zu unterscheiden:

1. Es sei W sehr groß gegen den Galvanometerwiderstand γ, dann ist nahezu

$$J = \frac{E}{W},$$

d. h. die Einschaltung des Galvanometers beeinflußt die Stromstärke des Kreises nicht merklich. Ein Instrument von geringem Widerstand ist also zur Messung der Stromstärke geeignet; man kann es als Strommesser (Amperemeter) verwenden.

2. Es sei der Galvanometerwiderstand γ sehr groß gegen W; dann ist nahezu

$$J = \frac{E}{\gamma},$$

d. h. W, der Widerstand der Stromquelle und des Schließungskreises mit Ausnahme des Galvanometers, hat keinen merklichen Einfluß auf die Stromstärke. Bei gleichbleibendem Galvanometerwiderstand ändert sich also J gleichmäßig mit E. Man kann mit einem Instrument von hohem Widerstand die elektromotorische Kraft der Stromquelle messen; man kann es als Spannungsmesser (Voltmeter) benutzen.

Ist der Spannungsabfall zwischen den Punkten P und Q (Fig. 255) eines geschlossenen Kreises zu messen, so darf die Stärke des abgezweigten Stromes die Stärke des Hauptstromes nicht merklich verkleinern. Eine solche Verkleinerung tritt nicht ein, wenn der Widerstand des Galvanometerzweiges groß gegen den Widerstand der Stromstrecke PQ ist. Hat das Galvanometer nicht den erforderlichen hohen Widerstand, so muß man in der Abzweigung noch einen großen Widerstand vor das Galvanometer schalten, wodurch freilich die Empfindlichkeit herabgesetzt wird. Vorschaltwiderstand.

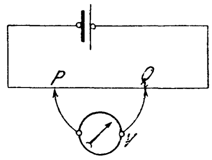

Fig. 255.

3. Darf man weder W noch γ vernachlässigen, so ist das Galvanometer am empfindlichsten, wenn sein Widerstand γ gleich dem übrigen Widerstand W des Stromkreises ist, mit andern Worten, bei gleichbleibender elektromotorischen Kraft ist der Ausschlag des Galvanometers am größten, wenn $W = \gamma$ ist. In einem Stromkreis von geringem Widerstand, z. B. bei Versuchen über Induktion, muß man also ein Galvanometer von geringem Widerstand benutzen.

Nach diesen Überlegungen wäre es am zweckmäßigsten, für die Übungen ein sehr empfindliches Galvanometer von geringem Widerstand ($\sim$ 5 Ohm) zu wählen. Soll man mit dem Instrument einen Spannungsunterschied messen, so schaltet man einen hohen Widerstand von 1000 und mehr Ohm vor. Ist die Stromstärke des Kreises für das Galvanometer zu groß, so schwächt man sie ebenfalls durch einen Vorschaltwiderstand, oder legt, wo dies nicht zulässig ist, das Galvanometer nebst Widerstandsatz zu einem Abzweigwiderstand in Nebenschluß, oft genügt es sogar, ein kurzes Drahtstück, etwa einen Manganindraht von 15 cm Länge und 0,5 mm Dicke, zwischen die Klemmen des Galvanometers zu schalten.

b) Stromprüfer.

Am geeignetsten für Nullverfahren ist das Galvanoskop von Paschen, das die Gebr. Ruhstrat zu Göttingen herstellen (Fig. 256). Bei dem Widerstand 10 Ohm läßt sich leicht eine Stromempfindlichkeit von 1^0 Nadelablenkung für $2 \cdot 10^{-7}$ A einstellen. Eine Beschreibung des innern Baues findet man jetzt bei Lehmann-Frick *2, 1, 438.*

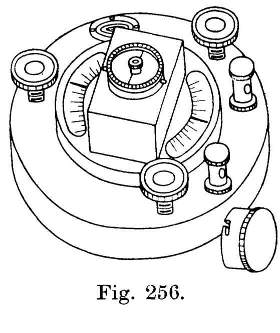
Fig. 256.

Weniger handlich, aber auch recht empfindlich, ist der Stromprüfer von Arthur

W. GRAY *(School Science 5, 599; 1905. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 19, 95; 1906).*

Ein sehr einfaches empfindliches Galvanoskop ist von MATHER und WALMSLEY (AYRTON *125;* HENDERSON, *Prelim. Pract. Magn. and Electr. 49*) ersonnen und an vielen englischen Schulen im Gebrauch. Von ähnlicher Bauart und Leistung ist der Strompüfer, den GRIMSEHL benutzt.

Das von HADLEY *(224 Nr. 25)* angegebene Galvanoskop ist zu unempfindlich und hat einen zu großen Widerstand.

Man hat für Schülerübungen usw. zahlreiche Formen von Stromprüfern ersonnen; ich verweise auf: ADAMS *91.* ALLEN *229.* BOTTONE, *Electrical Instrument-Making for Amateurs 131 u. 184.* GILLEY *459, 536.* GREGORY-SIMMONS *2, 134.* E. H. HALL, *Descript. List 92 Nr. 100.* MILLIKAN-GALE *80.* STEWART-GEE *2, 73.* TROWBRIDGE *101.* VOGLER, *Jedermann Elektrotechniker 1, 21.* WATSON, *Elem. Pract. Phgs. 238.* WOODRUFF, *School Science 2, 284; 1902.*

c) Tangentenbussole.

Sie ist bei den Übungen ein unentbehrliches Instrument. Es empfiehlt sich, nur Bussolen zu benutzen, bei denen die Nadel mit einem Achathütchen auf einer Spitze ruht. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium haben die Bussolen einen Ring aus Zink mit drei Wicklungen (Fig. 257).

Wicklung	Mittlerer Durchmesser der Windungen in cm	Anzahl der Windungen	Durchmesser des Drahtes in mm	Ungefährer Widerstand in Ohm	Ungefährer Reduktionsfaktor C in A	Guter Meßbereich in A	Größte Belastung in A
I	25,6	500	0,2	220	0,0077	0,005—0,014	0,4
II	26,5	50	1,2	0,64	0,079	0,05—0,14	5
III	28,1	4	2,2	0,016	1,05	0,6—1,7	13

Die Tangentenbussole gestattet, und das ist einer ihrer Hauptvorzüge, Ströme in absoluten Einheiten zu messen. Deshalb sind auf dem Grundbrett jedes Instrumentes der Halbmesser und die Anzahl der Windungen, außerdem die Durchmesser der Drähte und die Widerstände der drei Wicklungen angegeben. Die Reduktionsfaktoren schreibt man selbst darauf.

R. T. GLAZEBROOK, *Electricity and Magnetism 230 u. 245,* hat auf einem Ring von 21 cm Durchmesser drei Wicklungen von 3, 60 und 600 Windungen und den Reduktionsfaktoren 1, 0,5 und 0,005 A.

Die Herstellung von Tangentenbussolen für Schülerübungen ist behandelt bei: ADAMS *157.* BOTTONE, *A. a. O. 134.* CHUTE *224, 225.* HADLEY *225 Nr. 26.* HENDERSON, *Pract. Electr. and Magn. 135.* NICHOLS-

Smith-Turton *278.* Schuster-Lees, *Intermed. Course 198.* Stewart-Gee *2, 493.* Stroud *229.* *Syllab. of the Course of Pract. Instruct. in Phys. 1, 133.* Trowbridge *205.* Trowbridge, *What is Electricity? 98.* Vogler, *A. a. O. 1, 76.* Whiting *437.*

d) Spiegelgalvanometer.

1. Nadelgalvanometer. Instrumente, bei denen der Magnet oder das Magnetsystem an einem Kokonfaden hängt, sind trotz vieler Vorzüge für Schülerübungen nicht empfehlenswert, wenn sie nicht dauernd fest aufgestellt sind.

In den Vereinigten Staaten verwendet man vielfach, zumal an Schulen, die unter dem Einfluß der Harvard-Universität stehen, astatische Galvanometer. Vgl. über deren Herstellung: Allen *231.* E. H. Hall, *Descript. List 93 Nr. 107.* Trowbridge *206 u. 354.* Whiting *418.*

In England sind vielfach Thomsonsche Nadelgalvanometer in Gebrauch. Vgl. über deren Herstellung: Gregory-Simmons *2, 134.* Hadley *225 Nr. 27.* Stewart-Gee *2, 89.* Stroud *236.* *Syllab. of the Course of Pract. Instruct. in Phys. 1, 137.* Woollcombe *4, 89.*

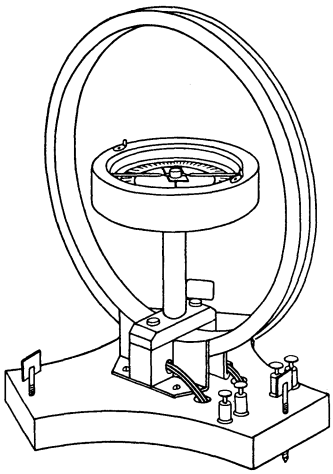

Fig. 257.

2. Drehspulengalvanometer. In den mittlern Staaten von Nordamerika benutzt man jetzt vielfach Drehspulengalvanometer. Bei den Versuchen über Induktion wird man sie in der Tat ungern entbehren. In der Alten Urania und am Dorotheenstädtischen Realgymnasium wurden bis jetzt zwei Formen geprüft.

a) Das von Abraham *(2, 346 Nr. 161)* beschriebene einfache Instrument hat zwar einen richtigen Widerstand, doch eine zu geringe Empfindlichkeit. Seine Aufstellung ließ sich ohne Mühe verbessern; schwieriger ist es jedoch, das Galvanometer gegen Luftbewegung und Staub zu schützen. Diese Form ist daher als Schülerapparat nicht zu empfehlen, eher dürfte dies möglich sein bei dem sehr einfachen Drehspulengalvanometer, das Millikan und Gale *(87)* beschrieben haben, doch besitzt bis jetzt die Alte Urania noch kein solches Instrument.

b) Das von Adams *(161)* angegebene Drehspulengalvanometer hat einen zu großen Widerstand, außerdem ist die Aufhängung an dem dünnen Kupferdraht nicht widerstandsfähig genug. Eine Aufhängung an Phosphorbronzeband hat sich hier nicht bewährt, wohl aber die Verwendung von Silberdraht. Eine weitere wesentliche Verbesserung war die Verwendung einer Drehspule aus 0,2 mm starkem isoliertem Kupferdraht von 5 Ohm Widerstand, ferner das Anbringen einer Hülse, die ein zu straffes Spannen des Aufhängedrahtes verhindert, und die Einrichtung einer bequemen Ablesevorrichtung. Mit diesem Instrument (Fig. 258) lassen sich alle Versuche über Induktion ausführen.

Das Ablesen der Spiegelgalvanometer bereitet bei den Schülerübungen erhebliche Schwierigkeiten. Die von ADAMS angegebene Vorrichtung, eine innen schwarze Papprӧhre von 30 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, die am einen Ende mit einem dünnen Draht und am andern Ende mit einem Sehloch von 6 mm Durchmesser versehen ist, hat sich ganz und gar nicht bewährt.

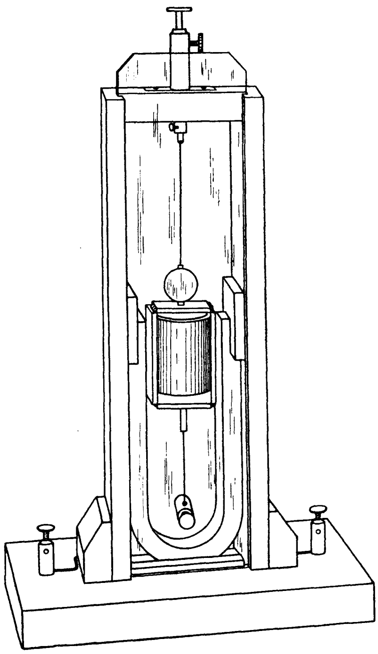

Fig. 258.

Eine subjektive Ablesung mit Fernrohr und Skale in der bei uns üblichen Form erfordert gute Spiegel und ist nur dann anzuraten, wenn das Instrument dauernd eine feste Aufstellung erhalten kann. Auch die von B. OSGOOD PEIRCE *(Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences 42, 173; 1906)* angegebene geistreiche Vorrichtung hat sich in der Alten Urania nicht bewährt. Fig. 259 zeigt die Ausführung, die dort angewandt wurde. Die Brennweite ($f_1 = 57$ cm) der Objektivlinse ist gleich dem Abstand der Linse von der Skale. Die Skale sitzt auf einer Holzleiste, die doppelt so breit wie die Teilung ist und in der Mitte ein ~ 2 cm weites Loch hat, in dem ein dünnes Metallband mit nach vorn gewendeter Schneide lotrecht angebracht ist. Das Bild der Skale soll dieses Loch gerade ausfüllen. Die Okularlinse hat eine Brennweite von 12 bis 15 cm und eine Blende mit Guckloch von 5 mm Durchmesser. Die Skale und die Okularlinse erhalten eine solche Stellung, daß die Skale und die Schneide des Metallbundes keine Parallaxe zeigen, d. h. sich nicht gegeneinander verschieben, wenn man das Auge vor dem Guckloch seitwärts bewegt. Ist diese Entfernung gefunden, so wird die Skale festgeklemmt. Man halte das Auge nicht dicht vor das Guckloch.

Bequemer und mit ganz einfachen optischen Hilfsmitteln ausführbar ist die objektive Ablesung. Hierbei läßt man das Licht einer scharf markierten Lichtquelle durch eine Linse auf den Spiegel und von da auf die Skale fallen. Als Lichtquelle kann man benutzen eine Glühlampe mit geradem Faden, die von einem geschlitzten Blechzylinder umgeben ist, oder eine Petroleumlampe (Rundbrenner) oder einen Auerbrenner, über deren Glaszylinder ein Asbestzylinder so gestülpt wird, daß der Luftzutritt nicht gehindert

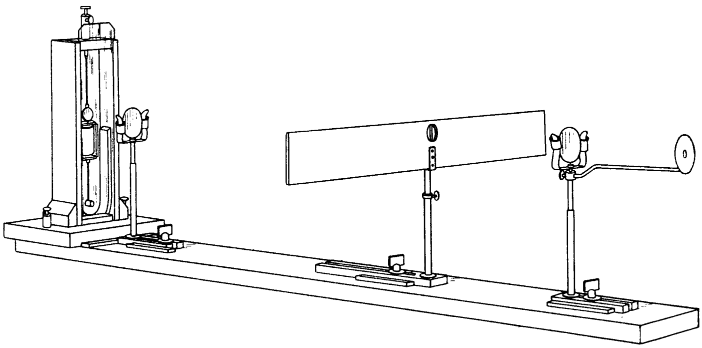

Fig. 259.

wird. Der Asbestzylinder hat gegenüber dem hellsten Teil der Flamme ein Loch von 1 bis 2 cm Durchmesser, über dem ein dünnes Metallband mit nach vorn gewendeter Schneide befestigt ist (Fig. 260). Als Linse dient ein Brillenglas, das in einem bequemen Halter sitzt. Ist der Abstand zwischen Lichtquelle und Spiegel $\sim$ 50 bis 75 cm,

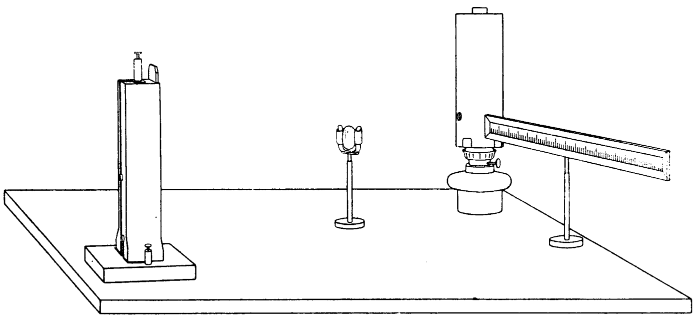

Fig. 260.

so genügt ein konvexes Brillenglas von $\sim$ 12 cm Brennweite und bei einem Abstand von 1 m ein Brillenglas von höchstens 50 cm Brennweite. Damit ein objektives Bild entsteht, muß die Lichtquelle außerhalb der Brennweite der Linse stehen. In das zurückgeworfene Lichtbündel stellt man eine 50 cm lange Skale aus durchscheinend gemachtem Papier oder aus Pauspapier oder Pausleinwand und verschiebt dann die Linse, bis ein deutliches Bild des Glühlampenfadens oder des Metallbandes auf der Skale entsteht.

Bequem ist auch folgende Projektionsvorrichtung (HADLEY *226 Nr. 27*): Ein oben und unten offener Holzkasten (30 cm $\times$ 26 cm $\times$ 26 cm), in dessen Hinterwand ein großes rundes Loch geschnitten ist (sie kann auch ganz fehlen), wird vorn mit einem schwarzen Pappdeckel versehen, der einen lotrecht 16 cm langen und 0,8 cm breiten Schlitz hat (Fig. 261). Über die Mitte des Schlitzes ist lotrecht ein dünner Kupferdraht mit Hilfe einer Feder gespannt. Eine Papierskale ist auf eine Holzleiste geklebt und diese mit zwei Messingbügeln und Ketten an zwei Haken in dem Pappdeckel aufgehängt, so daß sich die Skale auch in lotrechter Richtung bequem verschieben läßt. Die Lichtquelle, Petroleumlampe, Auerbrenner oder Glühlampe wird in das Innere des Kastens gestellt. Auch diese objektiven Ablesungen des Galvanometers sind für die Schülerübungen viel zu zeitraubend

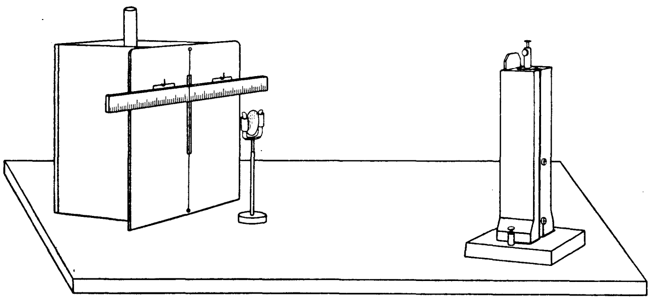

Fig. 261.

und nur dann vorteilhaft, wenn dauernde feste Aufstellungen möglich sind.

Bei den unten mitgeteilten Übungen gebraucht man ein Spiegelgalvanometer nur bei den Versuchen über Induktion. Da hier bloß die Richtung von Ausschlägen festzustellen ist, so genügt ein weit einfacheres Verfahren. Man visiere mit dem bloßen Auge aus einer Entfernung von $\sim$ 1 m im Spiegel einen begrenzten hellen Gegenstand (z. B. den Faden einer Glühlampe) und lege die Sehrichtung durch irgend eine einfache Zielvorrichtung fest. Dreht sich der Spiegel, so verschiebt sich das Bild des Gegenstandes.

Noch bequemer ist folgende Vorrichtung: Man befestige dicht vor dem Galvanometerspiegel einen Planspiegel derart, daß er dessen obere Hälfte verdeckt, und läßt einen hellen begrenzten Gegenstand (Glühlampenfaden oder weißen Papierstreifen auf schwarzem Papier) von beiden Spiegeln so zurückwerfen, daß die Bilder in einer lotrechten Geraden übereinander liegen. Bewegt sich der Galvanometerspiegel, so verschieben sich beide Bilder gegeneinander.

In den Vereinigten Staaten hat man die festaufgestellten und die beweglichen Drehspulengalvanometer mit so bequemen und stets gebrauchsfertigen Einrichtungen sowohl für die subjektive als auch für die objektive Ablesung versehen, daß diese verhältnismäßig billigen Instrumente für die Schülerübungen ebenso geeignet wie die Zeigergalvanometer sind; doch erfordert ihre große Empfindlichkeit bei einigen Übungen die Verwendung von hohen Widerständen oder Abzweigungen. Fig. 262 zeigt ein solches Drehspulengalvanometer für subjektive Ablesung. Es wurde im Sommer 1907 von der CENTRAL SCIENTIFIC COMPANY zu Chicago für die praktischen Schülerübungskurse in der Alten Urania bezogen (Nr. 2414 des Preisverzeichnisses).

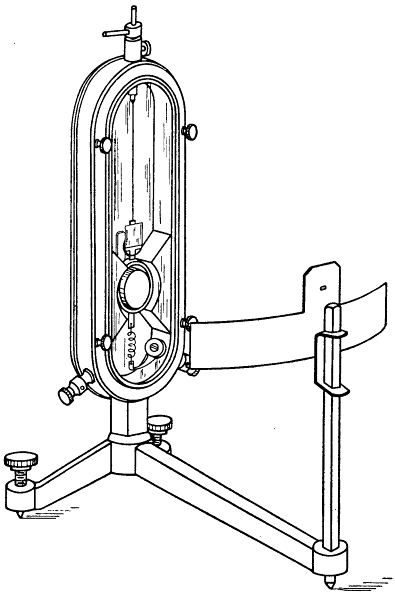

Fig. 262.

Auf der Versammlung der EASTERN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS, die am 25. Mai 1907 zu Brookline, Mass., stattfand, berichtete Herr BLACK *(Report p. 11)* über seine Prüfung von vier Drehspulengalvanometern, die für Schülerübungen hinreichend empfindlich sind. Ich entnehme seinem Bericht folgende Angaben.

Bezugsquelle	C. H. STOELTING W. Randolph St., Chicago	L. E. KNOTT APP. Co., Harcourt St., Boston	CENTRAL SCIENTIFIC Co., Michigan St., Chicago	A. W. HALL SCIENTIFIC Co., Franklin St.. Boston
Nummer des Preisverzeichnisses	2845	95—91	2414	975 a
Gewicht in kg*	2,7	1	1,5	1,6
Skalenabstand in cm	13,5	7,6	14,5	20
Höhe in cm	35	23	29	23
Tiefe in cm	23	16	22	33
Länge der Aufhängung in cm	9	4	7	4,5
Widerstand in Ohm	108	280	153	470
Empfindlichkeit d. h. die Stromstärke, die bei 1 m Abstand 1 mm Ausschlag liefert	$4{,}3 \cdot 10^{-8}$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$	$8{,}3 \cdot 10^{-8}$

Bezugsquelle	C. H. STOELTING W. Randolph St., Chicago	L. E. KNOTT APP. Co., Harcourt St. Boston	CENTRAL SCIENTIFIC Co., Michigan St., Chicago	A. W. HALL SCIENTIFIC Co., Franklin St., Boston
Empfindlichkeit d. h. die Stromstärke, die im Skalenabstand 1 mm Ausschlag liefert	$3{,}2 \cdot 10^{-7}$	$3{,}3 \cdot 10^{-7}$	$3{,}9 \cdot 10^{-7}$	$4{,}2 \cdot 10^{-7}$
Preis in M. (1 $ = 4 M.)	27	27	27	30
Bemerkungen.	Bewegung schnell. Vorder- und Hinterseite offen. Stark aperiodisch. Skale von oben abzulesen.	Bewegung langsam. Vorder- und Hinterseite offen. Steht nach einer Schwingung. Skale bequem abzulesen.	Spule hat plötzliche Auslösung. Schwer einzustellen. Steht nach zwei Schwingungen. Skale sehr deutlich, doch kleines Guckloch. Hinterseite geschlossen.	Hinterseite geschlossen. Steht nach vier Schwingungen. Veränderlicher Skalenabstand. Großes Guckloch.

e) Stromzeiger.

Das sind Instrumente, mit denen man ohne weiters durch Zeigerablesung die Stromstärke oder die Spannung in internationalen Einheiten mißt. Man wird daher ungern auf diese wertvollen Instrumente verzichten, die in den Schulen der Vereinigten Staaten, besonders in den New Yorker Schulen, viel benutzt werden und sich immer mehr Eingang in die Schülerlaboratorien verschaffen.

1. Strommesser. Bei den Übungen hat man Ströme von 0,01 bis 10 A zu messen. Es würde also ein Strommesser mit den beiden Meßbereichen 0—1—10 A genügen. Den Meßbereich kann man durch Nebenschluß des Strommessers zu einem Abzweigwiderstand erweitern. Ist z der Widerstand dieser Nebenleitung (Fig. 263), γ der Widerstand des Galvanometers und W der Widerstand der Stromverzweigung, so ist

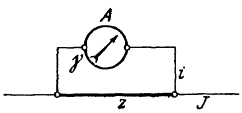

Fig. 263.

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{\gamma} + \frac{1}{z}$$

$$W = \frac{\gamma z}{\gamma + z}$$

und, wenn J die Stromstärke in dem Hauptstrom und i die mit dem Amperemeter gemessene Stromstärke bezeichnet,

$$J = i\left(1 + \frac{\gamma}{z}\right).$$

Die Zahl $a = 1 + \frac{\gamma}{z}$ nennt man den Abzweigungsfaktor. Die Rechnung wird am einfachsten, wenn

$$z = \frac{1}{9}\gamma, \quad \frac{1}{99}\gamma, \quad \frac{1}{999}\gamma, \ldots;$$

es ist dann

$$a = 10, \quad 100, \quad 1000.$$

2. Spannungsmesser. Bei den Übungen sind Spannungen von 0,01 bis 10 V zu messen. Es würde also ein Spannungsmesser mit den beiden Meßbereichen 0—1—10 V genügen.

Den Meßbereich eines Spannungsmessers kann man durch Vorschalten eines Widerstandes vergrößern. Hat das Voltmeter den Widerstand γ und liest man daran die Spannung E in Volt ab, so ist nach Vorschaltung von γ' Ohm der Ausschlag E', und es ist die in Volt gemessene Spannung

$$E = E'\left(1 + \frac{\gamma'}{\gamma}\right).$$

Bei Vorschaltung eines Widerstands γ Ohm wird $\gamma' = \gamma$ und $E = 2E'$, d. h. der Meßbereich wird verdoppelt, die Empfindlichkeit aber auf die Hälfte herabgesetzt. Bei Vorschaltung von $\gamma' = 9\gamma$ wird $E = 10E'$, mithin der Meßbereich verzehnfacht, jedoch die Empfindlichkeit auf $^1/_{10}$ des ursprünglichen Betrags herabgemindert.

Mit dem Spannungsmesser kann man auch Stromstärken messen. Legt man einen Spannungsmesser vom Widerstand γ an die Enden eines Widerstandes z, so zeigt das Instrument den Spannungsabfall $E = J'z$ an, wo J' die Stromstärke in z ist. Macht man $z = 1$ [Ohm], so ist $E = J'$, d. h. man kann an dem Spannungsmesser die Stromstärke in Ampere ablesen. Streng genommen muß man noch die Stärke des Zweigstromes berücksichtigen, der durch das Voltmeter fließt. Der Hauptstrom ist

$$J = J'\left(1 + \frac{z}{\gamma}\right).$$

Man hat also zu der Amperezahl, die man am Voltmeter abgelesen hat, noch $J'z/\gamma$ hinzuzufügen.

3. Strom- und Spannungsmesser. Mit diesen Instrumenten kann man nacheinander die Stromstärke und die Spannung messen.

Auf meine Anregung stellt jetzt die Firma Gans & Goldschmidt, Berlin N 65, Reinickendorferstraße 96, zu mäßigen Preisen Stromzeiger her, die für die Übungen trefflich geeignet sind, und zwar 1. ein aperiodisches Präzisions-Amperemeter, 2. ein aperiodisches Präzisions-Voltmeter und 3. ein kombiniertes Präzisions-Volt- und Amperemeter (Fig. 264). Jedes der einfachen Instrumente kostet 40 M. und der zusammengesetzte Apparat 50 M.

Das Amperemeter hat die Meßbereiche 0—1 und 0—10 A und bei dem ersten Meßbereich 0,2 und bei dem zweiten Meßbereich 0,02 Ohm Widerstand. Einem Teilstrich entspricht 0,01 oder 0,1 A.

Das Voltmeter hat bei dem Meßbereich 0—1 V 200 Ohm Widerstand und bei dem Meßbereich 0—10 Volt 2000 Ohm. Man kann mithin das Voltmeter auch als Milliamperemeter gebrauchen, da beim Endausschlag 1 Volt ein Strom von $^1/_{200}$ A = 0,005 A hindurchgeht. Es entspricht mithin 1 Teil der hundertteiligen Skala der Stromstärke 0,00005 A.

Die Instrumente sind auf das genaueste geeicht. Da die Enden der Zeiger eine scharfe Schneide bilden und Spiegel darunter gelegt sind, so lassen sich parallaktische Fehler bequem vermeiden und die Zehntel jedes Skalenteiles gut abschätzen. Die Wicklungen der Drehspulen sind so gewählt, daß die Instrumente geringen Stromverbrauch haben.

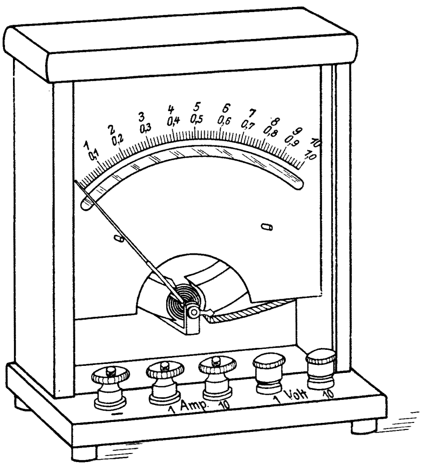

Fig. 264.

Alle wissenswerten Angaben sind auf die Skalen aufgedruckt, wie die Bezeichnungen der Empfindlichkeiten beim Endausschlag jedes Meßbereichs, sowie für jeden Teilstrich, ferner die Widerstände für jeden Meßbereich. Die Bezifferung der hundertteiligen Skala erfolgt von 10 zu 10 Teilstrichen, so daß eine falsche Ablesung selbst für den Anfänger ausgeschlossen ist. Die Klemme, die mit dem negativen Pol zu verbinden ist, trägt ein Minuszeichen und an den andern Anschlußklemmen sind durch eingravierte Zahlen die Meßbereiche bezeichnet, so daß falsches Anschließen nur bei grober Fahrlässigkeit möglich ist. Die Systeme sind außerdem so stabil gebaut, daß sie vorübergehend mehr als die zehnfache Überlastung vertragen. Vgl. *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unters. 21, 68; 1908.*

II. Quellen des elektrischen Stromes.

1. Aufgabe. *Wie wirkt verdünnte Schwefelsäure auf Zink ein?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Flasche (500 cm³) mit verdünnter Schwefelsäure.
Flasche (250 cm³) mit n-Kalilauge.
Weithalsiges Glas (250 cm³) mit granuliertem chemisch reinem Zink.
Flasche mit Quecksilber.

Geräte.

Flasche (500 cm³) mit Ammoniak.	Kasten mit Zinkblechstücken.
Glas mit Lackmuspapier-Streifen.	Quecksilberbrett.
5 Probiergläser.	Streichhölzer.
Batterieglas.	Fließpapier.
	Alte Lappen oder Werg.

Anleitung. **a)** Wenn man Schwefelsäure in viel Wasser auflöst, so entwickelt sich eine große Wärmemenge. *Zerfällung in* $\ddot{H}_2$ *und in* SO_4'' *Ionen. Hypothese.*

b) Lege in ein Probierglas einen Schnitzel Zinkblech, fülle das Röhrchen ~ 3 cm hoch mit verdünnter Schwefelsäure und beobachte sorgfältig die Oberfläche des Zinks. Entwickelt sich ein Gas? Riecht es?

c) Stülpe über die Mündung des Röhrchens ein leeres andres Probierglas und fange damit das entweichende Gas auf. Entferne nach zwei Minuten das obere Gläschen, ohne es umzukehren und halte ein brennendes Streichholz an seine Mündung. Mit welcher Farbe brennt das Gas? Wie ist der Knall zu erklären? Was für ein Gas hat sich entwickelt? Stelle das leere zweite Probierröhrchen in das Batterieglas zurück. Ändert sich die Größe des Zinkbleches? Welcher Vorgang findet also statt? *Bildung des Zinkions,* $\ddot{Zn}$.

$$\ddot{H}_2 + Zn = H_2 + \ddot{Zn}.$$

Wie kann man dies nachweisen?

d) Gieße aus dem ersten Probierglas etwas von der Lösung in das dritte Glas, bringe in dieses einen Streifen Lackmuspapier und tropfe langsam Kalilauge hinzu, bis die Neutralisation eingetreten ist. Füge nun noch eine kleine Menge Kalilauge hinzu. Was tritt ein? *Bildung von Zinkhydroxyd.* Welches Ion war also in der Lösung vorhanden? Gieße noch mehr Kalilauge in das Gläschen. Was geschieht mit dem weißen flockigen Niederschlag? Stelle das Gläschen in das Batterieglas zurück.

e) Lege in das vierte Probierglas ein Körnchen reines Zink und gieße etwas verdünnte Schwefelsäure darüber. Bildet sich auch hier ein Gas? Ändert sich die Größe des Zinkkornes?

f) Füge einige Eisenfeilspäne hinzu und schüttle das Gläschen. Was geschieht, wenn die Späne das Zink berühren? Wie kann man also das verschiedne Verhalten von reinem und unreinem Zink gegen verdünnte Schwefelsäure erklären? *Ortswirkung. Kurzschluß.* Stelle das Probierröhrchen in das Batterieglas.

g) Bringe in das zweite Probierglas einen Schnitzel Zinkblech, setze verdünnte Schwefelsäure hinzu und, sobald die chemische Wirkung eingetreten ist, einen Tropfen Quecksilber. Wie wirkt er auf das Zink ein? *Amalgamieren.* Greift die verdünnte Säure das amalgamierte Zink an?

h) Füge einige Eisenfeilspäne hinzu und schüttle. Tritt die chemische Wirkung wieder ein?

i) Gieße den Inhalt aller Gläschen in den Abfalleimer, reinige die Röhrchen sorgfältig und stecke sie auf die Stäbe des Trockengestelles.

Bemerkungen. Man warne die Schüler, Kleider oder die Haut mit Säure zu betropfen. Haben sie sich trotzdem die Hände mit Säure befleckt, so lasse man sie mit einem Stück Fließpapier abwischen und dann mit viel Wasser nachwaschen. Säuretropfen auf dem Tisch wische man nicht mit einem guten Tuch, sondern mit einem alten Lappen, einem Bündel Werg oder dem Schwamm ab und wasche dann mit viel Wasser nach. Sollte Säure auf die Kleider gekommen sein, so betupfe man sofort die roten Flecken mit starker Ammoniaklösung.

Die verdünnte Schwefelsäure stellt man her, indem man 50 cm³ chemisch reiner Schwefelsäure zu 1 l Wasser hinzusetzt (Dichte 1,06 gr/cm³), und die Kalilauge, indem man 56 gr Kaliumhydroxyd in 1 l Wasser löst (Dichte 1,05 gr/cm³). Die Probiergläser sind 10 cm lang und 1,6 cm weit und haben ∾ 20 cm³ Inhalt. Sie stehen in einem Batterieglas, das 12 cm hoch und 7 cm weit ist und ∾ 400 cm³ Inhalt hat.

2. Aufgabe. *Wie kann man auf chemischem Wege einen elektrischen Strom erzeugen?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Batterieglas. Vgl. Aufg. 1, Bemerkungen.
2 nicht amalgamierte Zinkstreifen.
2 amalgamierte Zinkstreifen.
2 Kupferstreifen.
2 Blechklemmen.
2 Brettchen mit Schlitzen.
2 Ankerbausteine.
Tangentenbussole (vgl. S. 344).
Voltmeter und Amperemeter.
Leitungsschnüre.
Ausschalter (vgl. S. 333) oder Stromwender (vgl. S. 335).
Stromschwächer (1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser). Vgl. S. 337.
Flasche mit verdünnter Schwefelsäure. (Vgl. Aufg. 1, Bemerk.)
Ammoniak.
Trichter.
Schmirgelpapier.
2 flache Eßteller von 20 cm Durchmesser.
Alkohol in einem Glaszylinder (10,5 cm hoch und 4 cm weit).
Tiegelzange.
Wage und Gewichtsatz.
Filtrierpapier.
Lappen.
Watte.
Wischtücher.

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole T (Fig. 265) so auf, daß die Drahtwindungen im magnetischen Meridian liegen. Die Stellung der Bussole darf während der Übung nicht im geringsten geändert werden.

b) Putze mit Schmirgelpapier die breiten Teile der beiden Kupferstreifen glänzend rein und schiebe sie in die Schlitze der Deckbrettchen BB. Fülle das Batterieglas C so weit mit verdünnter Schwefelsäure, daß die Flüssigkeit bis zur Linie DE (Fig. 267) reicht und beobachte ∼ 1 Minute lang die Oberfläche des Kupfers. Findet eine Gasentwicklung statt?

c) Verbinde durch Leitungsschnüre die Klemmen KK mit dem offenen Ausschalter U und den vier Bussolenwindungen aus dickem Draht, ohne dabei die Stellung der Bussole zu ändern, und schließe dann den Strom. Beobachte ∼ 1 Minute lang die Kupferstreifen und die Nadel der Bussole. Nimm die Kupferstreifen aus den Schlitzen, schraube die Klemmen ab, spüle die Streifen mit viel Wasser ab, trockne sie und lege sie auf den einen Teller.

d) Setze die beiden nicht amalgamierten Zinkstreifen ein und wiederhole damit die Versuche (b) und (c). Entwickelt sich ein Gas? Welche Ionen enthält die verdünnte Schwefelsäure? Welche Ionen entstehen beim Auflösen des Zinks in der Säure? Vgl. Aufg. 1 S. 353).

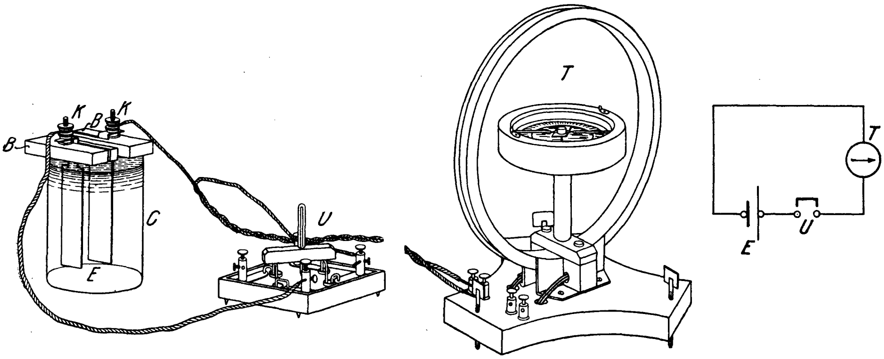

Fig. 265.

Nimm die Zinkstreifen aus den Schlitzen, entferne die Klemmen, spüle die Streifen mit viel Wasser ab, trockne sie und lege sie auf den Teller, auf dem sich die Kupferstreifen befinden.

e) Setze die beiden amalgamierten Zinkstreifen in die Schlitze und führe damit die Versuche (b) und (c) aus. Nimm die beiden amalgamierten Streifen aus den Brettchen, spüle sie mit viel Wasser ab, trockne sie mit Watte und lege sie auf den andern Teller, der für diese Streifen bestimmt ist.

f) Wäge einen amalgamierten Zinkstreifen und einen Kupferstreifen und setze sie dann in die Schlitze ein. Beobachte die Oberflächen beider Streifen. Findet eine Gasentwicklung statt? Nimm nach 15 Minuten die Streifen heraus, spüle sie behutsam mit viel Wasser ab, tauche sie in Alkohol, entzünde den Weingeist, der an den Streifen haftet, und wäge beide Metallplatten. Haben sich die Massen beider Streifen geändert?

g) Setze die Streifen wieder in die Schlitze, gib diesen den

Abstand 2 bis 3 cm, verbinde die Klemmen mit dem offenen Ausschalter und den vier Windungen der Bussole und schließe dann den Strom. Beobachte die Oberfläche der beiden Streifen, klopfe leise gegen die Glasplatte der Bussole und lies so bald wie möglich die Stellung ab, in der die Nadel zur Ruhe kommt. Lies von nun an jede Minute die Stellung ein und derselben Nadelspitze ab. Vergiß nicht vor dem Ablesen leise gegen das Bussolengehäuse zu klopfen. Ändert sich die Ablenkung der Nadel? Wo findet diesmal die Gasentwicklung statt? Entferne nach 15 Minuten die beiden Platten aus der Säure, spüle sie behutsam mit Wasser ab, tauche sie in Alkohol, trockne sie durch Abbrennen des Alkohols und bestimme die Gewichtsänderung der beiden Platten. Lege dabei den amalgamierten Zinkstreifen nicht unmittelbar auf die Wageschale, sondern auf ein Stück Papier, das zuvor austariert worden ist. Welches Metall hat sich gelöst? Welche Ionen sind entstanden? $\overset{\cdot\cdot}{Zn}$. Woher nimmt das Zink die positive Ladung? Aus dem Leitungsdraht. Woher bekommt dieser die Ladung? Vom Kupferstreifen. Wem entzieht der Kupferstreifen die positive Ladung? Den Wasserstoffionen. *Elektrolyt. Elektroden. Z* (Fig. 266) *Lösungselektrode* oder *Anode. C Ableitungselektrode* oder *Kathode.* In welcher Richtung bewegt sich die Ladung in dem metallischen Verbindungsdraht *AB*? *Elektrischer Strom.* Welches von den beiden Enden *A* und *B* hat also das höhere Potential? *Spannung* oder *Potentialdifferenz. Elektromotorische Kraft. A positiver Pol. B negativer Pol. Elektrizitätsmenge. Stärke des Stromes. Voltischer Becher. Element* oder *Kette. Offne* und *geschloßne Kette. Schließungsbogen. Stromkreis.*

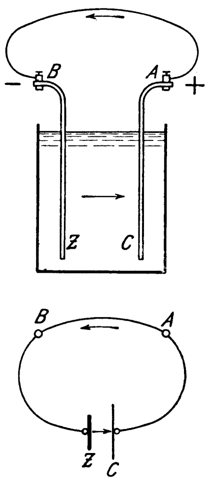

Fig. 266.

h) Ist der Zinkverbrauch in der offnen oder der geschloßnen Kette größer? Berechne den Verlust unter der Annahme, daß in beiden Fällen der Zinkstreifen ursprünglich die Masse 100 gr gehabt hätte.

i) Ersetze den amalgamierten Zinkstreifen durch einen nicht amalgamierten und wiederhole damit die Versuche (f) und (g). Vergleiche den Zinkverbrauch in der offnen und der geschloßnen Kette miteinander. Ist er größer als bei den Versuchen (f) und (g)? Vgl. (h). Ist die Ablenkung der Nadel und deren mittlere Änderung in der Minute größer als bei Versuch (g)?

k) Ändert sich der Ausschlag der Bussolennadel, wenn man den Abstand zwischen dem Zink- und dem Kupferstreifen ändert oder die Platten weniger tief eintaucht? *Innrer Widerstand.*

l) Ändert sich die Stellung der Nadel, wenn man verschiedne Längen eines Manganindrahtes von 0,25 mm Dicke in den Stromkreis einschaltet? *Äußrer Widerstand.*

m) Bilde aus dem Voltischen Becher, einem Voltmeter und einem Ausschalter einen Stromkreis und lies fünfmal in Zwischenzeiten von je einer halben Minute die Spannung ab.

n) Ersetze in dem Stromkreis das Voltmeter durch ein Amperemeter und lies ebenso fünfmal die Stromstärke ab.

o) Nimm die Leitungsschnüre ab. Spüle, soweit dies bis jetzt noch nicht geschehen ist, alle Metallstreifen tüchtig mit Wasser ab und trockne sie vollständig. Die amalgamierten Streifen dürfen mit den andern nie in Berührung kommen. Gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer, reinige und trockne das Batterieglas, Bringe den Ausschalter in Ordnung. Zieh alle Schrauben fest an. Nimm die Nadel der Tangentenbussole von der Spitze und lege sie daneben in das Gehäuse.

Bemerkungen. Man kann der Aufgabe auch die Form geben: *Wie kann man chemische Energie in elektrische Energie verwandeln?*

Man hat zahlreiche Formen des Voltischen Bechers ersonnen, die für Schülerübungen zweckmäßig sein sollen: Abraham *2, 267 Nr. 100; 273 Nr. 106.* Schreber und Springmann *2, 210 Nr. 166; 212 Nr. 168.* Adams *90 Nr. 39; 157.* Chute *187 Nr. 110.* Coleman *196 Nr. 66.* Crew und Tatnall *158 Nr. 73.* Gilley *405 Nr. 461.* Hadley, *Pract. Exer. 109 Nr. 76.* Einen sehr durchgearbeiteten Apparat liefert die Central Scientific Co. zu Chicago.

Das Batterieglas wird zuweilen größer (bis zu 500 cm^3 Inhalt) gewählt; man kann auch ein kleines Akkumulatorgefäß verwenden.

Alle Zink- und Kupferstreifen, die 1 mm dick sind, haben die in Fig. 267 abgebildete Gestalt, sind längs der Linie AB rechtwinklig umgebogen und bei C 0,5 cm breit geschlitzt. In den Schlitz C wird eine Blechklemme (Fig. 268) gesteckt, die zur Befestigung der Anschlußdrähte dient.

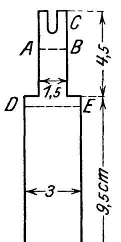

Fig. 267.

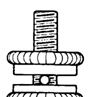
Fig. 268.

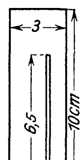

Fig. 269.

Man nimmt vielfach die Zinkstreifen 3 bis 4 mm stark. Das hat zwar den Vorteil, daß sie länger vorhalten, doch den Nachteil, daß die Masse erheblich vermehrt wird. E. H. Hall macht die Streifen nur 1 cm, Abraham hingegen sogar 5 cm breit. Man halte sich von den Zinkstreifen einen reichen Vorrat und bewahre die amalgamierten Bleche getrennt von den nicht amalgamierten Platten auf. Die amalgamierten Streifen, die man nicht erst kurz vor dem Versuch amalgamieren darf, schlägt man zur Aufbewahrung in Filtrierpapier ein. Bei den Versuchen legt man die Kupferbleche und die nicht amalgamierten Zinkstreifen auf einen Teller und die amalgamierten stets auf einen besondern andern Teller, auf den mit schwarzem Lack das Zeichen Hg gemalt ist.

Man sorge für eine ausreichende Menge verdünnter Schwefelsäure.

Die beiden Brettchen (10 cm $\times$ 3 cm $\times$ 1 cm) aus Elsenholz sind dreifach verleimt, mit Paraffin getränkt und haben einen 6,5 cm langen Einschnitt, der so breit ist, daß man die Metallstreifen bequem von der Seite her einschieben kann (Fig. 269).

Als Stromprüfer genügt schon eine Taschenbussole. Man feilt in einen flachen Kork oder ein Holzbrett von der Größe der Bussole eine gerade Nute für die Leitungsschnur ein und dreht vor dem Schließen des Stromes diesen Einschnitt in die Richtung des magnetischen Meridians. Man lasse ferner während des Versuches die Leitungsschnur über die Nadel in verschiedenen Höhen in der Richtung des magnetischen Meridians und auch senkrecht dazu halten. Vgl. Aufg. 41. Man kann auch einen richtigen Stromprüfer von $\sim$ 0,3 Ohm Widerstand oder ein Amperemeter (bis 5 A) oder Voltmeter (bis 3 V, Widerstand mindestens 100 Ohm) verwenden. Benutzt man ein Drehspulengalvanometer von geringem Widerstand (vgl. S. 345), so muß man es in Nebenschluß legen oder einen großen Widerstand vorschalten. Die Tangentenbussole ist hier als Stromprüfer verwendet. Will man ihre 50 Windungen benutzen, so ist durch Vorschalten eines Widerstandes ($\sim$ 2 Ohm) gleich nach dem Einschalten die Ablenkung der Nadel auf 45° herabzumindern.

Die Übung ist etwas stark mit Wägungen belastet. Man wird daher zumeist die Wägungen der Kupferstreifen fortfallen lassen und bei Mangel an Zeit alle Schüler nur die Versuche (a) bis (h) ausführen lassen. Empfehlenswert ist es, einige Paare die Versuche (b) bis (e), andere Paare die Versuche (f) bis (h) und die übrigen Paare die Versuche (k) bis (n) machen zu lassen. Nach meiner Erfahrung ist die Ausführung des Versuchs (i) nicht ratsam, da störende Nebenerscheinungen die Schüler verwirren können. Auch muß man bei Versuch (g) sorgfältig erwägen, welche der vielen neuen Begriffe man schon hier einführt. Über die Begriffsbestimmung für Potential, Potentialdifferenz, Elektromotorische Kraft, Spannung, Spannungsunterschied ist jetzt die Mitteilung des AEF, des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen, in den *Bericht. d. Deutsch. Phys. Gesellschaft 6, 578; 1908* zu vergleichen.

Man warne die Schüler, die Stellung der einmal justierten Tangentenbussole während des Versuchs zu ändern und weise nochmals auf die Vorsichtsmaßregeln beim Arbeiten mit Säuren hin. Die Enden der Leitungsschnüre müssen vor dem Einklemmen glänzend rein geschmirgelt und die Schrauben fest angezogen werden. Bei den Versuchen dürfen sich die Zink- und Kupferstreifen nicht berühren. Nach der Beendigung jedes Versuches sind die Metallstreifen sofort aus der Säure herauszuheben, mit viel Wasser abzuspülen und auf die Teller zu legen, und zwar die amalgamierten Streifen auf einen besondern Teller. Man mache die Schüler hierauf besonders aufmerksam.

3. Aufgabe. *Warum ändert sich der Strom des Voltischen Bechers mit der Zeit?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Die Teile eines Voltischen Bechers (vgl. S. 357).	2 Brettchen.
Batterieglas.	Holzbrett mit 4 Einschnitten (vgl. S. 362).
2 amalgamierte Zinkstreifen.	Blechklemmen.
2 Kupferstreifen.	Tangentenbussole (vgl. S. 344).

Geräte. Voltmeter (bis 3 Volt) von mindestens 100 Ohm Widerstand.
Stromschwächer (~ 13 Ohm), ein 1 m langer Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser auf Holzbrett ausgespannt.
Volkmannsche Klammer.
Ausschalter.
(Vgl. S. 333.)
Leitungsschnüre.
Konzentrierte reine Schwefelsäure.
Flasche mit verdünnter Schwefelsäure (170 cm^3 chemisch reiner Schwefelsäure auf 1 l Wasser); Dichte $= 1{,}18\ gr/cm^3$.
Flasche mit einer konzentrierten Lösung von Kaliumdichromat in Wasser.
Flasche mit einer Lösung von Chromtrioxyd in Wasser (1 : 1).
Flasche mit einer konzentrierten Lösung von Cuprisulfat in Wasser.
Flasche mit Ammoniak.
Glasstab, über dessen eines Ende ein Kautschukschlauch gezogen.
Schmirgelpapier.
Bunsenbrenner nebst Gasschlauch.
2 flache Teller (vgl. S. 354).
Porzellanschale mit Untersatz.
Filtrierpapier.
Millimeterpapier.

A. *Schwächen die Wasserstoffbläschen, die sich an den Kupferstreifen setzen, den Strom?*

Anleitung. **a)** Stelle die Tangentenbussole so auf, daß die Drahtwindungen im magnetischen Meridian liegen.

b) Putze die Kupferplatte mit Schmirgelpapier glänzend rein, fülle das Glasgefäß bis 2 cm unter dem Rande mit reinem Wasser und füge einige Tropfen konzentrierter reiner Schwefelsäure hinzu. Setze die Streifen in ihre Brettchen, verbinde die Klemmen mit den 500 Bussolenwindungen und tauche die Zinkplatte ein. Schließe den Strom durch ganz langsames Eintauchen des Kupferstreifens in den Becher, lies so schnell wie möglich die Ablenkung der Nadel ab und wiederhole die Ablesungen 5 Minuten lang am Ende jeder Minute. Vergiß nicht, gegen das Gehäuse der Bussole zu klopfen. Die Streifen sollen 2 cm voneinander abstehen, die Brettchen also aneinander stoßen.

Trage die Ablesungen in folgende Tabelle ein:

Zeit in Min.	Ablenkung α	tg α

Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle die Zeit als Abszisse und tg α als Ordinate.

c) Entferne nach Beendigung der Ablesungen die Gasblasen durch Erschüttern des Bechers oder Hinundherbewegen des Brettchens mit dem Kupferstreifen. Ändert sich die Stellung der Nadel?

d) Setze, nachdem die Ablenkung der Nadel wieder zurückgegangen ist, die Flüssigkeit bei der Kupferplatte mit einem Glasstab, über den ein Kautschukschlauch gezogen ist, in heftige Bewegung. Halte dabei den Streifen und sein Brettchen an seinem Ort. Welchen Einfluß hat dies auf die Gasbläschen und auf die Ablenkung der Nadel? Man kann die Bläschen auch mit einem Holzstab, einer Bürste, einem Wattebausch oder Schwämmchen an einem Holzstab entfernen.

e) Nimm, sobald sich die Ablenkung der Nadel wieder vermindert hat, den Kupferstreifen heraus, spüle und trockne ihn ab, schmirgele ihn glänzend rein und tauche die Kupferplatte langsam ein. Wie groß ist der Ausschlag der Nadel?

f) Nimm, nachdem die Ablenkung der Nadel wieder kleiner geworden ist, den Kupferstreifen heraus, spüle und trockne ihn ab, erhitze ihn über einer Bunsenflamme und setze ihn dann wieder langsam in den Becher ein. Lies die Stellung der Nadel ab und wiederhole die Ablesung 5 Minuten lang am Ende jeder Minute. Trage die Ergebnisse wie in (b) in eine Tafel ein und stelle sie graphisch dar.

g) Wiederhole den Versuch (e), doch gieße vor dem Einsetzen über die Kupferplatte eine Lösung von Kaliumdichromat. Setze dabei eine Porzellanschale unter. Beobachte die Oberfläche des Kupferstreifens und lies 5 Minuten lang jede Minute die Ablenkung der Nadel ab. Schreibe die Ergebnisse wie in (b) auf und stelle sie graphisch dar.

h) Wiederhole den Versuch (g), doch verwende statt Kaliumdichromat eine wässerige Lösung von Chromtrioxyd.

i) Wiederhole den Versuch (g), doch benutze statt Kaliumdichromat eine konzentrierte Lösung von Cuprisulfat.

k) Wodurch wird die Schwächung des Stromes hervorgerufen? *Polarisation.* Wie kann man die Polarisation vermindern oder verhindern?

B. *Entsteht bei der Polarisation eine elektromotorische Gegenkraft an den Elektroden?*

1. Verfahren.

Anleitung. l) Wiederhole den Versuch (b) und beobachte die Oberfläche des Kupferstreifens. Ersetze, sobald die Nadel für längre Zeit zur Ruhe gekommen ist, die Zinkplatte durch einen frisch glänzend rein geschmirgelten Kupferstreifen. Nach welcher Seite schlägt nun die Nadel aus? Vorher floß der Strom vom Kupfer durch die Bussole zum Zink und von dort durch die Flüssigkeit zum Kupfer. Wie fließt jetzt der Strom? Hat die mit Bläschen bedeckte Kupferplatte oder die reine Kupferplatte das höhere Potential? *Elektromotorische Gegenkraft.* Beobachte die Oberflächen der beiden Kupferplatten. Ändert sich der Ausschlag der Nadel?

2. Verfahren.

Literatur. Ayrton *421.* Abraham *2, 268 Nr. 101.* Schreber und Springmann *2, 209 Nr. 165.*

Anleitung. m) Schmirgele die Kupferstreifen C_1 und C_2 glänzend rein, schiebe sie und auch die beiden amalgamierten Zinkstreifen Z_1 und Z_2 so in das quadratische Holzbrettchen (Fig. 270), daß sich je eine Kupfer- und eine Zinkplatte gegenüberstehen und schreibe an die beiden Kupferplatten die Bezeichnungen C_1 und C_2 und an die Zinkstreifen die Bezeichnungen Z_1 und Z_2. Fülle das Batterieglas mit verdünnter Schwefelsäure von der Dichte 1,18 gr/cm³ und miß mit dem Voltmeter die elektromotorischen Kräfte der vier Plattenpaare:

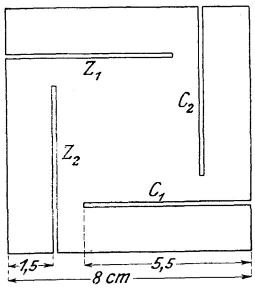

Fig. 270.

$$C_1 \mid Z_1; \quad C_1 \mid Z_2; \quad C_2 \mid Z_2; \quad C_2 \mid Z_1.$$

n) Bilde aus dem Plattenpaar $C_1 \mid Z_1$, dem Widerstand, dem Ausschalter und dem Voltmeter einen Stromkreis. Ändert sich die elektromotorische Kraft mit der Zeit? Unterbrich den Strom und miß nach 5 Minuten nochmals die elektromotorische Kraft dieses Plattenpaares.

o) Verbinde die Platten $C_1 \mid Z_1$ mit dem Widerstand und miß von neuem mit dem Voltmeter die elektromotorischen Kräfte der Plattenpaare

$$C_1 \mid Z_2; \qquad C_2 \mid Z_2; \qquad C_2 \mid Z_1.$$

Wo ist also der Sitz der Polarisation? Miß ferner mit dem Voltmeter auch die Spannung zwischen den beiden Zinkstreifen Z_1 und Z_2 und den beiden Kupferstreifen C_1 und C_2.

p) Laß das Voltmeter mit den beiden Kupferstreifen in Verbindung und öffne den Hauptstrom. Wie groß ist die Potentialdifferenz zwischen den beiden Kupferstreifen? Ändert sie sich mit der Zeit? Was bilden also das Kupfer, die verdünnte Schwefelsäure und das polarisierte Kupfer? Welche Kupferplatte bildet den negativen Pol?

q) Nimm die Leitungsschnüre ab. Spül alle Metallstreifen tüchtig mit Wasser ab und trockne sie gut. Gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer, reinige und trockne das Batterieglas. Zieh alle Schrauben fest an. Nimm die Nadel der Tangentenbussole von der Spitze und lege sie daneben in das Gehäuse.

Bemerkungen. Die bei den Aufgaben 1 und 2 benutzte verdünnte Schwefelsäure eignet sich nicht zu diesen Versuchen. Die Versuche (a) bis (l) kann man auch mit verdünnter Schwefelsäure von der Dichte 1,18 gr/cm³ ausführen und die Versuche (m) bis (p) auch mit reinem Wasser, dem einige Tropfen konzentrierter reiner Schwefelsäure zugesetzt sind.

Das quadratische paraffinierte Holzbrett (8 cm × 8 cm × 1 cm) ist mit vier 5,5 cm langen Einschnitten von solcher Breite versehen, daß man die Metallstreifen bequem einschieben kann (Fig. 270).

A. W. Gray *(School Science 2, 217; 1902)* benutzt bei den Versuchen ein sehr einfaches Galvanoskop von ~ 3,5 bis 5 Ohm Widerstand, das er auf folgende Weise herstellte: Er leimte zwei offene quadratische Kasten aus starker Pappe (4 cm × 4 cm × 1 cm) mit den Rücken aneinander, legte in den einen Kasten eine Taschenbussole, deren Nadel ~ 3 cm lang war, versah zwei gegenüberliegende Seiten des andern Kastens mit Einschnitten und wickelte dann um beide Kasten 10 bis 15 m isolierten Kupferdraht von 0,26 mm Durchmesser.

Man erinnere die Schüler an die Vorsichtsmaßregeln, die nach Aufg. 2 beim Arbeiten mit dem Voltischen Becher zu beachten sind und wiederhole die Warnung davor, Kupfer- und amalgamierte Zinkstreifen miteinander in Berührung zu bringen oder auf denselben Teller zu legen.

Die beiden tüchtigsten Schüler lasse man die Versuche (m) bis (p) und alle übrigen Schülerpaare die Versuche (a) bis (e), (l) und (q) ausführen. Die Versuche (f) bis (i) lasse man nicht von allen Schülern machen, sondern weise sie einzelnen Paaren zu.

In Amerika wird zuweilen an die Versuche mit dem Voltischen Becher die Aufgabe angeschlossen, eine Spannungsreihe aufzustellen. Es werden außer dem Zink- und Kupferstreifen Platten aus Kohle, Eisen, Blei, Zinn und Aluminium benutzt und als Elektrolyte außer verdünnter Schwefelsäure Salzsäure und Lösungen von Kochsalz, Salmiak, Zinksulfat, Cuprisulfat, Natriumdichromat und Kaliumhydroxyd verwendet. Es wird für denselben Elektrolyten aus der Richtung, nach der die Nadel des Stromanzeigers ausschlägt, festgestellt, welche Platte Anode und welche Kathode wird, und dann in bezug auf diesen Elektrolyten eine Spannungsreihe aufgestellt. Diese Übungen sind aus verschiedenen Gründen nicht empfehlenswert. Vgl. Noack, *Aufgaben 162 Nr. 146.*

4. Aufgabe. *Kann man gleichbleibende Ketten herstellen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Die festen Teile einer Daniellschen Kette.
Batterieglas (vgl. S. 354).
Gut amalgamierter Zinkstreifen (vgl. S. 357).
Kupferblech (10 cm × 10 cm × 0,03 cm) um die Tonzelle gebogen.
Tonzelle, 10 cm hoch und von 4,8 cm äußerem Durchmesser.
Blechklemmen (vgl. S. 357).
Leitungsschnüre.
Flasche mit verdünnter Schwefelsäure (vgl. S. 354).
Flasche mit konzentrierter Lösung von Cuprisulfat in Wasser (100 gr kristallisiertes Salz auf 300 cm³ Wasser; Dichte 1,2 gr/cm³).
Flasche mit Alkohol.
Flasche mit Ammoniak.
Tangentenbussole.
Stromwender oder Wippe (vgl. S. 335).
Voltmeter (vgl. S. 351).
Stromschwächer (vgl. S. 337).
Wage nebst Gewichtsatz.
Tarierschrot.
Bunsenbrenner nebst Gasschlauch.
Gefäß zum Wässern der Tonzellen.
Millimeterpapier.
Schmirgelpapier oder Schmirgelholz.

Anleitung **a)** Wäge sorgfältig den Zinkstreifen und das glänzend rein geschmirgelte Kupferblech. Schütze bei der Wägung des Zinkes die Wageschale durch ein austariertes Blatt Papier.

b) Fülle die Tonzelle bis 2 cm unter dem Rande mit verdünnter Schwefelsäure. Stelle die Tonzelle, sobald eine Flüssigkeitshaut auf ihrer Außenwand sichtbar wird, und auch das Kupferblech in das Batterieglas und fülle dieses mit der Cuprisulfatlösung. Diese soll etwas niedriger stehen als die leichtere Flüssigkeit in der Zelle. Hänge das Zink, das in den Schlitz des Brettchens eingeschoben worden ist, in die Säure. *Daniellsche Kette.*

c) Stelle die Tangentenbussole an dem Ort, den der Lehrer angewiesen hat, so auf, daß ihre Spule im magnetischen Meridian liegt. Bilde aus der Daniellschen Kette, der Wippe und den vier Windungen der Bussole einen Stromkreis (Fig. 271). Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Schließe den Strom und schreibe die Zeit auf, zu der dies geschah. Klopfe, sobald die Nadel zur Ruhe gekommen ist, leise gegen das Bussolengehäuse und lies jetzt und alle 3 Minuten die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Wende nach 15 Minuten den Strom, unterbrich ihn nach weiteren 15 Minuten und schreibe die Zeit auf.

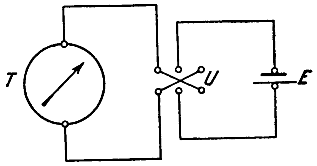

Fig. 271.

Trage diese Ablesungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . Windungen. Daniell Nr. . . .

	Zeit in Min.	Zeigerablesungen				tg α
		Ostspitze	West-spitze	Mittel	Ablen-kung α	
Nullpunkt						

d) Nimm die Metallplatten aus ihren Flüssigkeiten, spüle sie behutsam mit Wasser ab, begieße sie mit Alkohol, entzünde diesen und trockne so die Platten. Wäge die Bleche sorgfältig und schütze bei der Wägung des Zinkstreifens die Wageschale durch ein austariertes Blatt Papier. Um wieviel hat sich die Masse jeder Platte geändert? Um wieviel Gramm hätte sich die Masse jeder Platte in einer Sekunde geändert, wenn sie ursprünglich 100 gr gewesen wäre?

e) Welches Metall löst sich und welches scheidet sich ab? *Zink geht bei der Auflösung in Zinkion über* (Fig. 272). Woher nimmt das Zink die positive Ladung? *Aus dem Leitungsdraht.* Woher bekommt dieser die Ladung? *Vom Kupferblech.* Wem entzieht das Kupferblech die positive Ladung? *Den Kupferionen.*

Ändert sich dadurch die Menge der Kationen in dem Zinkabteil und in dem Kupferabteil? Wie gleicht sich der Unterschied aus? *Wanderung von Sulfationen durch die Tonzelle von der Kupferseite zur Zinkseite. Ionengleichung:*

$$Cu^{\cdot\cdot} + SO_4'' + Zn = Cu + Zn^{\cdot\cdot} + SO_4''.$$

Läßt man das unveränderte Ion SO_4'' weg, so erhält man:

$$Cu^{\cdot\cdot} + Zn = Cu + Zn^{\cdot\cdot}$$

Das Kupfer gibt seine Ladung an das Zink ab, das dadurch in Zinkion übergeht, während das Kupfer sich metallisch ausscheidet[1]).

f) Wie ändert sich beim Versuch (c) die Ablenkung der Nadel mit der Zeit? Stelle die Ergebnisse graphisch dar, nimm dabei die Zeit als Abszisse und tg α als Ordinate. Wie ändert sich die Stromstärke mit der Zeit?

g) Setze die Kette wieder zusammen und bilde aus ihr, der Wippe, dem Widerstand und den 50 Windungen der Tangentenbussole einen Stromkreis (Fig. 273). Regle den Widerstand so, daß die Ab-

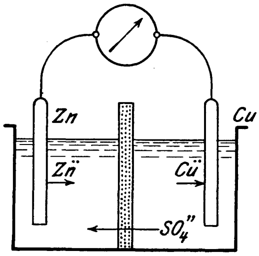

Fig. 272.

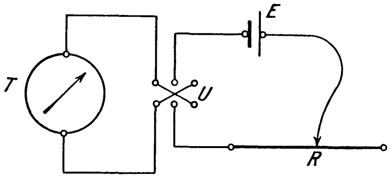

Fig. 273.

lenkung der Nadel zwischen 30^0 und 60^0 liegt, und lies 15 Minuten lang am Ende jeder dritten Minute unter Wenden des Stromes die Zeigerstellung ab. Trage ähnlich wie bei dem Versuch (c) die Ablesungen in eine Tafel ein, berechne aus den vier zusammengehörigen Werten die Ablenkung α und stelle die Ergebnisse wie beim Versuch (f) graphisch dar.

h) Wiederhole den Versuch (g) unter Einschaltung der 500 Windungen der Bussole, doch ohne Benutzung des Widerstandes.

i) Verbinde die Klemmen der Daniellschen Kette mit einem Voltmeter und miß 15 Minuten lang am Ende jeder Minute die EMK der Kette. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Zeit	EMK in V gemessen

[1]) Ostwald, *Schule d. Chemie 2, 252.*

Stelle die Ergebnisse graphisch dar, nimm dabei die Zeit als Abszisse und die Spannung als Ordinate.

k) Wie ändert sich nach den Versuchen (f) und (g) die Stromstärke mit der Zeit? Wie ändert sich nach den Versuchen (h) und (i) die elektromotorische Kraft mit der Zeit? Ist die Daniellsche Kette konstant? *Je größer der äußere Widerstand, desto kleiner die Stromstärke.* Hängt die Unveränderlichkeit der Daniellschen Kette von der Stärke des entnommenen Stromes ab?

l) Nimm die Kette auseinander. Spüle den Tonzylinder aus und lege ihn in das Gefäß zum Auswässern. Gieße die Flüssigkeiten in die Gefäße, die der Lehrer dafür angewiesen hat. Spüle die Metallplatten tüchtig mit Wasser ab und trockne sie gut. Bringe die Bussole in Ordnung.

Bemerkungen. Infolge der wertvollen Unveränderlichkeit der Daniellschen Kette ist die Aufgabe recht eintönig. Es ist daher ratsam, damit Übungen im Gebrauch der Tangentenbussole zu verbinden. Dies setzt voraus, daß man zuvor einiges über das magnetische Feld des Stromes durchgenommen hat. Vgl. Aufg. 41 bis 43.

Die beiden Ziele der Übungen, der Nachweis, daß sich in der Daniellschen Kette Zink löst und Kupfer abscheidet, und der Nachweis, daß sich die EMK recht wenig ändert, lassen sich nicht gut durch denselben Versuch erreichen. Der eine Zweck verlangt eine größre und der andre eine geringre Stromstärke. Man lasse daher die eine Hälfte der Schüler die Versuche (a) bis (f) nebst (l) und die andre Hälfte die Versuche (g) bis (l) ausführen.

E. H. Hall, *Descript. List 71 Nr. 52,* bestimmt nicht die Massen der trocknen Zink- und Kupferbleche, sondern taucht bei Beginn des Versuchs die Platten in die Flüssigkeiten, hebt sie dann heraus, läßt sie darauf, wie auch am Ende des Versuchs, 15 Sekunden lang abtropfen und wägt nun die Platten samt den Flüssigkeitsmengen, die noch daran haften. Ein Abwischen der Platten ist unstatthaft; man kann sie statt mit Alkohol auch trocknen, indem man sie 30 bis 60 cm hoch über eine Bunsenflamme hält. Die Zinkstreifen darf man nicht erst kurz vor dem Versuch amalgamieren.

5. Aufgabe. *Wie wirkt die Polarisation in einer Leclanché-Kette?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Leclanché oder Gnom oder Trockenelement von Siemens & Halske, Type T.
Tangentenbussole oder Voltmeter (vgl. S. 344).
Stromwender oder Wippe (vgl. S. 335).
Leitungsschnüre.
Kurzes Stück Kupferdraht.

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole mit ihren Windungen in den magnetischen Meridian und lies die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Verbinde die Klemme der Leclanché-Kette mit den 500 Windungen der Bussole und dem Stromwender (Fig. 271). Lies die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, wende den Strom und bestimme wiederum die Ablenkungen der beiden Zeigerenden.

b) Unterbrich den Strom und schließe 2 bis 3 Minuten lang die Leclanché-Kette kurz, d. h. verbinde ihre Klemmen durch einen kurzen Draht. Entferne den Draht und verbinde sofort die Kette nochmals mit der Spule von großem Widerstand. Lies unter Benutzung des Stromwenders die vier Ablenkungen der Zeigerspitzen ab.

c) Unterbrich auf 3 bis 4 Minuten den Strom und lies von neuem wie vorher die vier Ablenkungen ab.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . Windungen. . . . Kette Nr. . . .

	Zeigerablesungen		Mittel	α	tg α	EMK in V
	Ostspitze	Westspitze				
Vor dem Kurzschluß						
Nach einem Kurzschluß von . . . Minuten						
4 Minuten später						

e) Berechne aus den vier Ablesungen der Zeigerspitzen die Ablenkung α der Nadel und schlage tg α auf.

Bemerkungen. Die einfache Versuchsreihe läßt Zeit, die Schüler in der genauen Bestimmung des Ablenkungswinkels zu üben. Statt der Tangentenbussole kann man auch ein Voltmeter (bis 3 V) von mindestens 100 Ohm Widerstand verwenden.

6. Aufgabe. *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte verschiedener Stromquellen miteinander.*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Sammler. Daniell. Leclanché. Gnom. Trockenelement von Siemens & Halske, Type T. Leitungsschnüre. Tangentenbussole oder Voltmeter (vgl. S. 344). Stromwender.

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole so auf, daß ihre Windungen im magnetischen Meridian liegen.

b) Verbinde der Reihe nach die verschiednen Ketten mit dem Stromwender und den 500 Windungen der Bussole, sorge dabei für gute Kontakte. Lies jedesmal wie in Aufg. 5 die vier Stellungen der beiden Nadelspitzen ab.

c) Trage die Ablesungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . . . Windungen.

Kette	Zeigerablesungen		Mittel	α	tg α	EMK in V
	Ostspitze	Westspitze				
. . . Nr. . . .						

d) Berechne aus den vier Ablesungen der Zeigerspitzen die Ablenkung α der Nadel und schlage tg α auf. *Die EMK verhalten sich wie die Werte von tg α.*

Bemerkung. Statt der Tangentenbussole kann man auch ein Voltmeter (bis 3 V) von mindestens 100 Ohm Widerstand benutzen.

7. Aufgabe. *Wie ändert sich beim Laden und Entladen die Spannung eines Bleisammlers?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Meßsammler. 2 Sammler. Voltmeter (0—3 V). Amperemeter (0—2 A). Stromschwächer, 1 m Manganindraht von 0,3 cm Durchmesser. Volkmannsche Klemme. Leitungsschnüre. 2 Ausschalter. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Lege den Spannungsmesser V (Fig. 274) und einen offnen Ausschalter in Nebenschluß zum Meßsammler M. Stelle aus 2 hintereinander geschalteten Sammlern E, einem Stromschwächer R, einem offnen Ausschalter U, dem Meßsammler und einem Strommesser A einen Stromkreis her, doch so, daß die gleichnamigen Pole der Batterie und des Meßsammlers miteinander verbunden sind. Welche Farbe hat die positive Platte des Sammlers M? *Bleiperoxyd.* Welche Farbe haben die beiden negativen Platten? *Blei.* Schließe den Hauptstrom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke $\sim$ 1 A, aber nicht mehr, beträgt, schließe den Voltmeterstrom und lies jede Minute die Spannung so lange ab, bis die Ausschläge sich nicht mehr ändern.

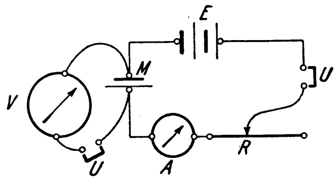

Fig. 274.

b) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Meßsammler Nr. . . . Spannungsmesser Nr. . . .

Laden			Entladen		
Zeit		Spannung in V	Zeit		Spannung in V
Zeitpunkt *h* m	Dauer in Min.		Zeitpunkt *h* m	Dauer in Min.	

c) Entferne die Batterie *E* aus dem Hauptstromkreis, schalte, falls dies notwendig ist, die Drähte am Spannungsmesser und Strommesser um und regle den Widerstand so, daß die Stromstärke ∼ 1 A, aber nicht mehr, beträgt und lies jede Minute die Spannung ab, bis sie sehr schnell zu sinken beginnt. Trage die Ergebnisse auch in die Tafel ein.

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, trage dabei die Zeit als Abszisse und die Spannung als Ordinate auf.

Bemerkungen. Der Meßsammler hat eine Kapazität von 6 Amperestunden bei 0,6 A Entladestrom. Die normale Ladestromstärke ist 1 A. Füllung 200 cm³ chemisch reine Schwefelsäure von 1,18 gr/cm³ Dichte. Diese Sammler entlade man kurz vor der Übung und lade sie nachher wieder ganz auf. Man kann auch die Übung mit der Entladung beginnen. Statt des Meßsammlers kann man auch die einfache Vorrichtung benutzen, die Abraham *(2, 265 Nr. 98)* beschrieben hat.

Statt des Voltmeters kann man auch 500 Windungen der Tangentenbussole und statt des Amperemeters die vier Windungen einer zweiten Tangentenbussole verwenden; doch ist die Einstellung der Bussolen zeitraubend.

Ein näheres Eingehen auf die Vorgänge im Bleisammler (Rüdorff-Lüpke, *Grundriß der Chemie*[12] *309* und Dolezalek, *Theorie des Bleiakkumulators*) ist kaum ratsam.

III. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

8. Aufgabe. *Wie wirkt der elektrische Strom auf einen Elektrolyten ein?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. 2 bis 3 Sammler oder 3 bis 4 Trockenelemente oder Starkstrom und Glühlampenwiderstände.

Leitungsschnüre und 2 isolierte Drähte von 60 bis 90 cm Länge und 0,9 mm Durchmesser.

Stromwender.

2 Kohlenstäbe (für Bogenlampen), je 10 cm lang.

2 Volkmannsche Klemmen.

2 Verbindungsklemmen mit 2 Löchern.

2 Bechergläser, 30 bis 60 cm³.

Flasche mit gesättigter Lösung von Cuprisulfat (vgl. S. 362).

Flasche mit konzentrierter Salpetersäure.

Geräte. Flasche mit verdünnter Schwefelsäure, 30 %, Dichte 1,22 gr/cm^3.
Flasche mit Ammoniak (vgl. S. 353).
Kaliumjodidstärkelösung.
Phenolphtaleïnlösung (5 gr Phenolphtaleïn in 100 gr Alkohol) oder Polreagenzpapier.
Kochsalzlösung oder Natriumsulfat.
Lösung von Kaliumferrocyanid.
Quecksilber für Stromwender.
Flacher Teller von 20 cm Durchmesser (vgl. S. 357).
Schmirgelpapier.
Eisendraht.
Beißzange.
Kork.
Stricknadel.
Bunsenbrenner nebst Schlauch.
Probierröhrchen.
Scheibe aus Fensterglas (10 cm $\times$ 5 cm).
Filtrierpapier.

Anleitung. **a)** Fülle das Becherglas $\sim$ 3 cm hoch mit gesättigter Cuprisulfatlösung. Befestige an einem Ende jedes der beiden Kohlenstäbe eine Volkmannsche Klemme und daran einen Leitungsdraht. Bilde aus diesen, den Sammlern und dem offnen Stromwender einen Stromkreis. Halte die freien Enden der Kohlenstäbe in $\sim$ 1 cm Abstand in die Cuprisulfatlösung. Die Kohlenstäbe und die metallischen Teile der Leitung dürfen sich nicht berühren. Schließe einige Minuten lang den Strom und beobachte sorgfältig beide Elektroden. An welcher entwickelt sich ein Gas? Nimm die Stäbe aus der Lösung. Hat sich etwas auf den Kohlen ausgeschieden? Wiederhole, falls dies nicht der Fall ist, den Versuch, doch setze nunmehr die Stäbe etwas näher aneinander. Aus welchem Stoff besteht der Überzug? Welche Ionen enthält die Lösung von Cuprisulfat? (Vgl. Aufg. 4.) Wie fließt der Strom in dem Elektrolyten? *Anode, Kathode.* Mit welchem Pol ist der Stab verbunden, auf dem sich das Kupfer ausgeschieden hat? Wohin ist das Kupferion $Cu^{\cdot\cdot}$ gewandert? *Kation.* An wen hat es seine Ladungen abgegeben? *Elektrizitätsmenge. Coulomb.* Wohin ist das Sulfation SO_4'' gewandert? *Anion.* Was macht das Sulfation, nachdem es seine Ladung an die Anode abgegeben hat? $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$. *Elektrolyse.* Wende den Strom und prüfe, ob die Erscheinungen und ihre Erklärungen bestehen bleiben.

Was wird schließlich aus der Lösung von Cuprisulfat? Wie wirkt der elektrische Strom auf die übrig bleibende verdünnte Schwefelsäure?

b) Fülle das andre Becherglas $\sim$ 3 cm hoch mit dreißigprozentiger Schwefelsäure, drehe die Kohlenstäbe in den Klemmen um, so daß jetzt die noch unbenutzten Enden in die Säure tauchen und wiederhole den Versuch (a), halte das Gläschen gegen das Licht und beobachte längere Zeit sorgfältig die Oberflächen der Kohlen. An welchem Stabe findet die stärkre Gasentwicklung statt? Welche Ionen hat die verdünnte Schwefelsäure? Wo scheidet sich der Wasserstoff ab? Was wandert an die Anode? Was macht dort das Sulfation? Was bildet sich also stets von neuem? Welches sind die sichtbaren Erzeugnisse der Elektrolyse der Schwefelsäure? Wer ist also scheinbar nicht daran beteiligt und wer wird anscheinend nur zerlegt? *Ältere Auffassung der Elektrolyse des Wassers.*

c) Nimm die Volkmannschen Klemmen nebst Stäben von den Drähten ab, entferne an den Enden der Drähte ~ 5 cm weit die Isolierung, schmirgele die Enden glänzend rein, bohre mit einer glühenden Stricknadel in ~ 1 cm Abstand zwei Löcher durch einen Kork, schiebe die blanken Drahtenden hindurch und biege sie parallel. Nimm den Kork in die Hand, tauche die Drähte in die verdünnte Schwefelsäure, schließe den Strom, halte das Gläschen gegen das Licht oder lege ein Blatt weißes Papier unter. Beobachte längere Zeit sorgfältig die Oberflächen der Drähte und die untern Teile der Flüssigkeit. Öffne den Strom. Was macht das Kation $H_2^{\cdot\cdot}$? Wohin wandert das Sulfation? Wie wirkt es nach der Abgabe der Ladung auf die Anode ein, die aus Kupfer besteht? Welche Farbe hat das Cuprisulfat? Gieße die Säure aus dem Becherglas in den Abfalleimer und spül es tüchtig mit Wasser aus.

d) Schneide die Enden des Drahtes, die in die Schwefelsäure eingetaucht worden waren, ab und schmirgele wieder nach der Entfernung der Isolierung die Drahtenden ~ 5 cm weit glänzend rein. Stecke die beiden Elektroden durch den Kork, tauche sie in das Becherglas mit der Cuprisulfatlösung, schließe den Strom und beobachte die Oberflächen der Elektroden. Schließe den Strom, nimm die Drähte aus der Flüssigkeit und untersuche ihre Oberflächen. Wende den Strom. Was macht das Kation $Cu^{\cdot\cdot}$? Wohin wandert das Sulfation? Wie wirkt es auf die Anode ein?

e) Befestige am Ende des einen Drahtes mit einer Klemme ein Stück Eisendraht und wiederhole den Versuch (d), mache jedoch dabei das Eisen zur Kathode. Öffne den Strom, nimm den Eisendraht ab, gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer und spüle das Becherglas tüchtig mit Wasser aus.

Polprüfer.

f) Gieß in das Becherglas ~ 3 cm hoch Kaliumjodidstärkekleister, tauche die zuvor abgeschmirgelten Enden der Kupferdrähte so ein, daß sie sich nicht berühren, schließe den Strom und beobachte die Flüssigkeit. Welche Ionen hat das Kaliumjodid? Wie wirkt der Strom auf das Kaliumjodid ein? An welcher Elektrode scheidet sich Jod aus? Wie wirkt es auf die Stärke ein? Wende den Strom und prüfe, welcher Draht mit dem positiven Pol der Batterie verbunden ist. Öffne den Strom und reinige die Elektroden und das Becherglas.

g) Setze in einem Probierglas zu 15 cm³ einer Lösung von Kochsalz oder Natriumsulfat in Wasser einige Tropfen einer Lösung von Phenolphtalein in Alkohol. Tauche einen Streifen Filtrierpapier in das Gemisch und lege ihn auf eine Glasscheibe. Biege das Ende des Kupferdrahts, der mit dem negativen Pol des Sammlers verbunden ist, ein wenig um und setze beide Elektrodenenden nahe beieinander, ohne daß sie sich jedoch berühren, auf das Papier und ziehe sie dann auseinander (Fig. 275). Welche Ionen hat das Natriumsalz? Wie wirkt der Strom auf das Natriumsalz ein? Nach welcher Elektrode wandert das Natriumion? Wie wirkt das ausgeschiedene Natrium auf das Wasser ein? Wie wirkt Natronlauge auf Phenolphtaleïn ein? Wende den Strom und prüfe, welcher Draht mit dem negativen Pol der Batterie verbunden ist. Öffne den Strom, wirf das Papier in den Abfalleimer und wasche die Glasplatte ab.

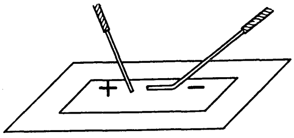

Fig. 275.

h) Lege auf die Glasplatte einen Streifen Papier, der mit einer Lösung von Kaliumferrocyanid getränkt ist. Verbinde durch Klemmen Eisendrahtstücke mit den Kupferdrähten, setze die Eisenelektroden nahe beieinander auf das Papier und ziehe sie dann auseinander. An welcher Elektrode entsteht eine Färbung? *Berliner Blau.*

Bemerkungen. Die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure mit Kohlenelektroden erfordert eine recht sorgfältige Beobachtung. Zweckmäßiger ist es, wenn auch etwas umständlicher, hierbei isolierte Kupferdrähte zu verwenden, an die als Elektroden 5 cm lange Platindrähte in der Stichflamme des Gebläses angeschmolzt sind. Die Kohlenstäbe muß man nach der Benutzung längere Zeit in Wasser stellen.

Die Kaliumjodidstärkelösung bereitet man, indem man zu 100 gr siedendem Wasser 2 gr

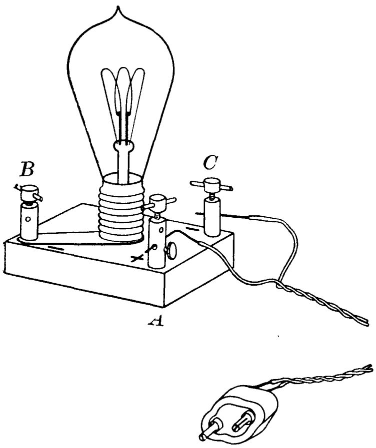

Fig. 276.

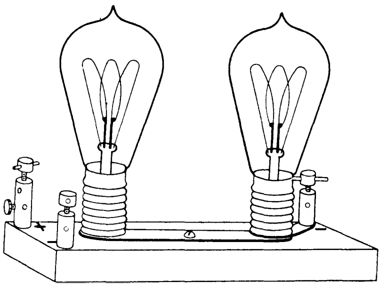

Fig. 277.

Stärke, die mit etwas Wasser angerührt sind, und dann 1 gr Kaliumjodid hinzufügt.

Die Lösung von Kaliumferrocyanid (gelbem Blutlaugensalz) stellt man her, indem man 10 cm³ der gesättigten Lösung mit 100 cm³ Wasser verdünnt.

Verwendet man Polreagenzpapier, so muß man es beim Versuch anfeuchten.

Auf die Elektrolyse des Kaliumferrocyanids wird man in der Schule kaum näher eingehen. (Vgl. Hittdorf, *Über die Wanderungen der Ionen, Oswalds Klassiker Nr. 21 S. 72.* Lüpke, *Elektrochemie*[2] *22.*)

Die Ausführung der elektrolytischen Versuche in gleicher Front wird oft dadurch verhindert, daß nicht die erforderliche Anzahl von Sammlern oder Trockenelementen vorhanden ist. Sind die Arbeitsplätze an die Starkstromleitung (110 Volt) angeschlossen, so kann man den Strom dorther unter Vorschaltung einer geschwärzten Glühlampe entnehmen. Die Lampe dient dabei als Widerstand, Ausschalter und Galvanometer. Folgende Einrichtung ist bequem: Man schraube auf einen Holzklotz (10 cm $\times$ 10 cm $\times$ 2 cm) drei Anschlußklemmen A, B und C (Fig. 276) und eine Glühlampenfassung, verbinde die Klemmen B und C durch isolierte Drähte mit der Glühlampe, lege den positiven Pol der Leitungsschnur an A und den negativen an C an und markiere das positive Ende der Leitungsschnur und den positiven Stift des Steckkontakts durch $+$-Zeichen oder rote Farbe. Den Strom für die Elektrolyse nimmt man an den Klemmen A und B ab. Die Leitungsschnur wähle man $\sim$ 2 m lang. Hat die Leitung 220 V, so verwendet man zwei Glühlampen, die parallel geschaltet sind (Fig. 277).

9. Aufgabe. *Wie verhält sich die Kupfermasse, die ein gleichbleibender Strom ausscheidet, zur Niederschlagsdauer?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Kupfercoulombmeter (vgl. S. 375).
2 Sammler.
Tangentenbussole (4 Windungen).
Amperemeter (bis 2 A).
Ausschalter.
Stromschwächer, 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser.
Leitungsschnur für die Bussole.
4 Leitungsschnüre.
Cuprisulfatlösung (vgl. S. 375).
Alkohol.
Wage und Gewichtsatz.
Feines Schmirgelpapier.
2 Bechergläser.
Tiegelzange.
Filtrierpapier.
Stechuhr.

Anleitung. a) Schmirgle alle Elektroden, soweit sie in die Flüssigkeit eintauchen, und auch ihre Verbindungsstellen mit großer Sorgfalt glänzend rein, spüle sie mit Wasser ab und trockne sie mit Filtrierpapier. Streiche, wenn die Elektroden dünn sind, beim Abschmirgeln stets nach einer Seite. Fasse von nun an während des ganzen Versuches den breiten Teil der Hauptkathode nicht mehr mit den Fingern an, sondern greife diese Elektrode am obern Teil oder nur mit einem Stück reinem Papier an.

b) Tauche die Hauptkathode (sie hat keine Marke) in Alkohol, entzünde den daran haftenden Alkohol, wäge nach dem Abkühlen diese Elektrode sorgfältig und schlage sie bis zur Benutzung in reines Papier ein.

c) Setze das Anodenpaar und die Hilfskathode, die an der Einkerbung (Fig. 278) kenntlich ist, in das Coulombmeter ein und fülle dieses bis 1 cm unter dem Rande mit Cuprisulfatlösung.

d) Stelle die Tangentenbussole richtig auf (vgl. Aufg. 43).

e) Stelle aus dem Coulombmeter V (Fig. 279), dem Stromschwächer R, dem Strommesser A, dem offnen Ausschalter U, den vier Windungen der Tangentenbussole T und den hintereinander geschalteten Sammlern E einen Stromkreis her. Den negativen Pol der Batterie muß man mit der Kathode verbinden.

f) Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß das Amperemeter die Stromstärke 1 A anzeigt und die östliche Zeigerspitze der Bussole um α^0 abgelenkt wird. Sieh nach, ob sich an der Kathode Kupfer abscheidet.

g) Öffne den Strom. Ersetze die Hilfskathode durch die Hauptkathode, schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt des Stromschlusses auf und halte von nun an die östliche Zeigerspitze der Bussole, die bei (f) benutzt worden ist, wenn nötig durch Änderung der Widerstandes, genau über derselben Stelle der Teilung.

h) Unterbrich genau nach 15 Minuten den Strom. Nimm die Kathode heraus, spüle sie behutsam mit Wasser ab, tauche sie in Alkohol, entzünde den daran haftenden Weingeist und wäge nach dem Abkühlen die Elektrode sorgfältig. Wie groß ist die Massenzunahme m der Kathode?

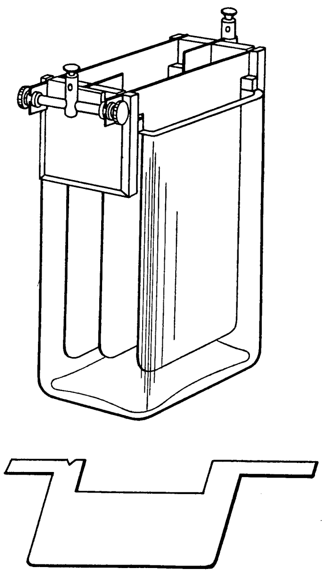

Fig. 278.

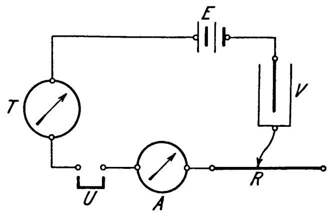

Fig. 279.

i) Wiederhole den Versuch. Halte dieselbe Zeigerspitze wie vorher durch Regelung des Widerstandes genau über derselben Stelle der Teilung wie vorher und laß den Strom genau 30 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Bau ab und bringe alle Geräte in Ordnung.

k) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . . . . Windungen.

Stromstärke = [A].

Ablenkung der Nadelspitze α = . . .^{0}.

Zeitpunkt		Versuchsdauer τ sek	Masse der Kathode in mg			Verhältnis der Dauern τ_1/τ_2	Verhältnis der Massenzunahmen m_1/m_2
Beginn	Schluß		vor Beginn	nach Schluß	Zunahme m		

l) Wie verhält sich also die Masse des ausgeschiednen Kupfers zur Niederschlagsdauer?

m) Welche Ionen befinden sich in der Cuprisulfatlösung? *Cu und SO_4''.* Aus welchen beiden Teilen besteht das Cupriion? *Kupfer und elektrische Ladung.* Wie verhält sich die Zahl der Ionen zur Masse des ausgeschiedenen Kupfers, wenn man annimmt, daß alle Cupriionen gleiche Ladung haben? Was kann man also mit der Masse des ausgeschiedenen Kupfers messen? *Elektrizitätsmenge des Stromes.*

n) Die Cuprisulfatlösung ist nicht elektrisiert. Wie müssen sich also die Größen der elektrischen Ladungen des Cupriions $Cu^{\cdot\cdot}$ und des Sulfations SO_4'' verhalten? In welchem Verhältnis stehen aber die gleiche Ladungen tragenden Massen des Cupriions und des Sulfations? *Mit den Äquivalentgewichten wandern gleiche Elektrizitätsmengen.*

o) Welche Ionen befinden sich in einer Lösung von neutralem Sibernitrat? $Ag^{\cdot}$ und NO_3'. Wie wirkt der Säurerest NO_3 auf eine silberne Anode ein? Wird in diesem Fall die Stärke der Silbernitratlösung geändert? *Die von 1,118 mg Silber mitgeführte Elektrizitätsmenge nennt man ein Coulomb. Praktische Einheit der Elektrizitätsmenge. Ein Strom, der in einer Sekunde ein Coulomb befördert, hat die Stärke ein Ampere. Praktische Einheit der Stromstärke. 1 Coulomb = 1 Amperesekunde.*

p) Welche Elektrizitätsmenge wandert mit 1 gr Silber? 1 Coul : 0,001118 = 894,5 Coul. *Grammäquivalent eines Körpers heißt sein chemisches Äquivalentgewicht, in Gramm ausgedrückt. Das Grammäquivalent des Silbers ist 107,93 gr.* Wieviel Coulomb befördert das Grammäquivalent des Silbers? 894,5 Coul. $\times$ 107,93 = **96540** Coul. Das Grammäquivalent des zweiwertigen Kupfers ist 63,6 gr : 2 = 31,8 gr. Wieviel Coulomb wandern mit 31,8 gr Kupfer, wenn mit den Grammäqivalenten stets die gleiche Elektrizitätsmenge wandert? 96540 Coul. Wieviel Gramm Kupfer scheiden 96540 Coul. ab? 31,8 gr. Wieviel Gramm Kupfer scheidet 1 Coul. ab? 31,8 gr : 96540 = 0,0003294 gr = 0,3294 mg. *Das elektrochemische Äquivalent des Kupfers ist $\mathfrak{E}$ = 0,3294 [mg/Coul.].*

q) Wieviel mg Kupfer wurden in 45 min abgeschieden? Wieviel Coulomb sind also in dieser Zeit durch das Kupfercoulombmeter geflossen? Wieviel Coulomb sind in einer Sekunde hindurchgegangen? Wie groß war also die in Ampere gemessene Stromstärke? Welche

Stromstärke zeigt das Amperemeter an? Wie groß war die Ablenkung des Zeigers der Tangentenbussole?

r) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Amperemeters richtig waren. Wieviel Coulomb sind also in den 45 Minuten hindurchgeflossen? Wieviel Milligramm Kupfer wurden in den 2700 sek abgeschieden? Wie groß ist also das elektrochemische Äquivalent des Kupfers? Stimmt diese Zahl mit dem früher (o) berechneten Wert überein?

s) Es bezeichne m die Anzahl Milligramm eines Stoffes, die in τ sek von J Ampere ausgeschieden werden und $\mathfrak{C}$ mg/A sek das elektrochemische Äquivalent des Stoffes. Welche Beziehung besteht zwischen diesen Größen?

Bemerkungen. Kennt man den Reduktionsfaktor der Tangentenbussole, so kann man das Amperemeter weglassen und den Schülern die Stellung des Bussolenzeigers angeben, die der Stromstärke 1 A entspricht und die während des Versuches dauernd zu erhalten ist.

Das Kupfercoulombmeter (Fig. 278). Auf den schmalen Rand eines rechteckigen Glasgefäßes von 10,5 cm $\times$ 13,5 cm $\times$ 6 cm sind zwei Holzleisten aufgekittet, die mit je drei Einschnitten, den Lagern der Elektroden, versehen sind. Die beiden Anoden (13,5 cm $\times$ 9,5 cm) sind aus 0,7 mm starkem Kupferblech hergestellt (Fig. 280) und tragen an den beiden obern Ecken Nasen Die längern Vorsprünge sind geschlitzt und durch eine Blechklemme miteinander verbunden. Die Hauptkathode (Fig. 281) und die Hilfskathode, die an einer Kerbe in dem obern Teil kenntlich ist, sind aus 0,55 mm starkem Kupferblech gefertigt. Die in den Elektrolyten eintauchenden Flächen sind abgerundete Rechtecke (9 cm $\times$ 8,5 cm), sie verjüngen sich in zwei schmale Streifen und verbreitern sich dann oben wieder in einen Tragestreifen, der an dem einen Ende geschlitzt ist, damit man die Verbindungsklemme bequem ansetzen kann. Beschreibungen der verschiedenen Formen von Kupfercoulombmetern findet man bei: ABRAHAM *2, 232 Nr. 67 u. 250 Nr. 81.* ADAMS *103 Nr. 45.* AMES and BLISS *409 Nr. 76.* BLASIUS *212.* BOWER and SATTERLY *310 Nr. 199.* CARHART and PATTERSON *161 Nr. 79.* HENDERSON *163 Nr. 164.* HADLEY, *Pract. Exerc. 179 Nr. 115 u. 228 Nr. 35.* N. M. HOPKINS, *Exp. Electrochem. 89.* LOUDON and McLENNAN *219.* NOACK, *Leitf. 21.* NICHOLS, *Labor. Man. 1, 166.* NICHOLS, SMITH and TURTON *220 Nr. 106.* OSTWALD-LUTHER *429.* ROTH *134.* SCHUSTER and LEES, *Exerc. in Pract. Phys. 267 Nr. 56.* STROUD *243.* WOOLLCOMBE *4, 52.* Ich habe früher bei den Übungen das Kupfercoulombmeter von HADLEY benutzt, doch führten die unsichern Anschlüsse der Elektroden und deren Beweglichkeit zu Störungen, und daher verwende ich jetzt das oben beschriebene Coulombmeter.

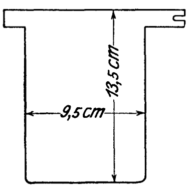

Fig. 280.

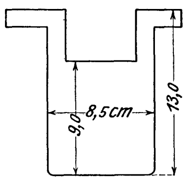

Fig. 281.

Die Cuprisulfatlösung stellt man am besten nach OETTEL her, indem man 150 gr Cuprisulfat pulvert und in 1000 cm³ Wasser löst, filtriert und dann 50 gr (nicht 500 gr, wie infolge eines Druckfehlers bei OSTWALD-LUTHER steht) Schwefelsäure und 50 gr Alkohol hinzufügt. Der leicht oxydierbare Alkohol verhindert schädliche Bildungen an der Anode. Man kann auch 125 gr Cuprisulfat in 1000 cm³ Wasser lösen und 50 gr Schwefelsäure hinzusetzen.

Als Stromschwächer habe ich früher Kohlewiderstände benutzt; ich kann die von mir angewandte Form wegen ihres oft launenhaften Verhaltens zu diesem Versuch nicht empfehlen und rate zur Verwendung von Flüssigkeitswiderständen oder noch besser von Gleitwiderständen.

Obwohl es ratsam ist, in das Faradaysche Gesetz anstatt des elektrochemischen Äquivalents das Grammäquivalent, die Wertigkeit und die Faradaysche Zahl 96540 einzuführen, so wage ich doch nicht, mich jetzt schon so weit von der Darstellungsform zu entfernen, die heute noch an unsern Schulen üblich ist.

Die Versuche bereiten den Schülern einige Schwierigkeiten und erfordern große Aufmerksamkeit des Lehrers, namentlich eine sorgfältige Prüfung der Schaltungen. Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 9 und die andere Hälfte gleichzeitig die Aufgabe 10 ausführen.

10. Aufgabe. *Wie verhält sich die ausgeschiedene Kupfermasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Kupfers?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, nur verwendet man, falls man auch eine Tangentenbussole einschaltet, statt des Ausschalters eine Wippe.

Anleitung. a) Verfahre wie in Aufgabe 9 (a) bis (h), doch laß einen Strom von 1 Ampere 30 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Schalte, falls nur eine Tangentenbussole (4 Windungen) zur Strommessung benutzt wird, die Wippe so ein, daß nur in der Bussole, nicht aber im übrigen Stromkreis die Stromrichtung umgekehrt werden kann (Fig. 282), und regle, während die Hilfskathode ein gesetzt ist, den Widerstand so, daß die Ablenkung des Bussolenzeigers zwischen 30^0 und 60^0 liegt. Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuches die Nullstellungen beider Zeigerspitzen ab, wende nach 15 Minuten möglichst rasch den Strom und schreib alle 5 Minuten die Stellungen der beiden Zeigerspitzen auf. Reguliere den Widerstand fortwährend nach und halte so die Zeigerspitzen in ihren ursprünglichen Stellungen. Lies ebenso alle 5 Minuten das Amperemeter ab.

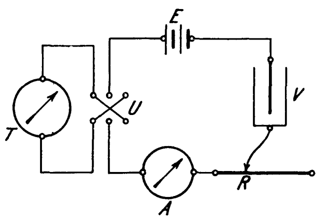

Fig. 282.

b) Wiederhole den Versuch, doch wähle den Widerstand so, daß die Stromstärke 0,75 A beträgt und laß diesen Strom 40 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen, doch wende nach 20 Minuten möglichst rasch den Strom. Benutze bei der Einstellung der Stromstärke auf 0,75 A wiederum die Hilfskathode.

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . . . . Windungen.

Zeitpunkt		Versuchsdauer τ sek	Stromstärke		Anzahl der Coulomb $q = J\tau$
Beginn	Schluß		J A	Mittel	

Masse der Kathode in mg			Verhältnis der Elektrizitätsmengen q_1/q_2	Verhältnis der Massenzunahmen m_1/m_2
vor Beginn	nach Schluß	Zunahme m		

Nimm als Amperezahl J den Mittelwert aus allen Ablesungen jeder Versuchsreihe.

Schreibe, falls eine Tangentenbussole benutzt worden ist, die Ablesungen daran unter Berücksichtigung des Drehsinns folgendermaßen auf und nimm aus den Werten von tg α das Mittel.

	Zeit	Zeigerablesungen			Ablenkung α	tg α
		Ost-spitze	West-spitze	Mittel		
Nullpunkt						
⋮						
						Mittel $\mu = \ldots\ldots$

Schreibe ebenso die Ablenkungen für den zweiten Teil des Versuches auf.

d) Die Anzahl der Coulomb oder Amperesekunden ist, wenn C den Reduktionsfaktor der Bussole bezeichnet, $q = C\tau \operatorname{tg}\alpha$, mithin $q_1/q_2 = \tau_1 \operatorname{tg}\alpha_1/\tau_2 \operatorname{tg}\alpha_2$. Frage den Lehrer, wie groß der Reduktionsfaktor der Tangentenbussole ist, und berechne die Stromstärken bei beiden Versuchen. Vergleiche sie mit den Angaben des Amperemeters.

e) Wie verhalten sich also die ausgeschiednen Kupfermassen zu den Elektrizitätsmengen, die durch das Coulombmeter hindurchgeflossen sind?

f) Berechne aus beiden Messungen, sowohl aus den Angaben des Amperemeters als aus den Ablenkungen der Magnetnadel die Kupfermasse, die von einem Coulomb mitgeführt worden ist. Wie stimmt das Ergebnis mit dem Wert für das elektrochemische Äquivalent überein, der in Aufgabe 9 erhalten worden ist?

Bemerkung. Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 9 und die andere Hälfte gleichzeitig die Aufgabe 10 lösen.

11. Aufgabe. *Wie groß ist der Reduktionsfaktor der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsortes?*

(3 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 10, doch ohne Amperemeter.

Anleitung. a) Verfahre wie bei Aufgabe 9 (a) bis (h), doch regle unter Benutzung der Hilfselektrode den Widerstand so, daß der Zeiger der Bussole um 30^0 bis 60^0 abgelenkt wird, und halte während des ganzen Versuchs durch Nachregulieren des Widerstandes die Ablenkung unverändert. Lies vor Beginn und nach Beendigung des Versuchs die Nullagen beider Zeigerspitzen ab und ebenso alle 5 Minuten die Ablenkungen beider Zeigerspitzen. Wende in der Mitte des Versuchs möglichst rasch den Strom. Schreibe wie in Aufgabe 10 die Ergebnisse der Ablesungen auf. Laß den Strom mindestens 30 Minuten oder, wenn es die Zeit gestattet, 45 Minuten bis 1 Stunde durch das Coulombmeter fließen. Berechne aus der Masse des ausgeschiednen Kupfers die Stromstärke und daraus und aus dem Mittelwert μ von tg α den Reduktionsfaktor.

Coulombmeter Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . . . . Windungen.
Masse der Kathode vor der Elektrolyse . . . mg.
Masse der Kathode nach der Elektrolyse . . . mg.
Masse des ausgeschiedenen Kupfers $m = \ldots$ [mg].
Beginn der Elektrolyse $\ldots^h \ldots^m \ldots^s$.
Schluß der Elektrolyse $\ldots^h \ldots^m \ldots^s$.
Dauer der Elektrolyse $\tau = \ldots$ [sek].
Elektrochemisches Äquivalent des Kupfers $\mathfrak{E} = 0{,}3294$ [mg/Coul].

Stromstärke $J = \frac{m}{\mathfrak{E}\tau}$ [A] $= \ldots$ [A].

Reduktionsfaktor $C = \frac{J}{\operatorname{tg}\alpha} = \ldots$ [A].

b) Lies auf dem Brett der Bussole ab, wie groß der mittlere Halbmesser r und die Anzahl N der Windungen ist, frage den Lehrer, wie stark am Standort der Bussole die magnetische Horizontalintensität H ist und berechne nach der Formel $C = 5rH/N\pi$ den Reduktionsfaktor.

c) Berechne aus den Werten von r und N und aus dem Wert des Reduktionsfaktors, der mit dem Kupfercoulombmeter gemessen worden ist, die magnetische Horizontalintensität des Orts, wo die Bussole steht.

12. Aufgabe. *Wie verhält sich die Knallgasmasse, die ein gleichbleibender Strom ausscheidet, zur Dauer der Elektrolyse?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Knallgascoulombmeter. (Vgl. S. 381.) Eisenfreies Gestell mit 2 Klemmen. | 2 Sammler. Tangentenbussole. Amperemeter. Ausschalter.

Geräte. Gleitwiderstand, 1 m Manganindraht von 0,3 mm Durchmesser.	Flasche mit 2 *n*. Natronlauge (80 gr Ätznatron in 1000 cm³ Wasser).
Leitungsschnur für die Bussole.	Stechuhr.
	Becherglas.
Leitungsschnüre.	Trichter.

Anleitung. **a)** Fülle bei offner Auslaßröhre das Coulombmeter (Fig. 283) mit so viel Natronlauge, daß sie das Elektrodengefäß füllt und in der Bürette bis zum tiefsten Teilstrich reicht. Verschließe die Auslaßröhre. Stelle wie in Aufgabe 9 (e) einen Stromkreis her. Schließe den Strom und ändre den Widerstand so, daß ein Strom von 0,5 A durch das Coulombmeter fließt und die östliche Zeigerspitze der Bussole (4 Windungen) um α^0 abgelenkt wird. Öffne den Strom, klopfe leise gegen das Elektrodengefäß und warte, bis alle Gasblasen an die Oberfläche des Elektrolyten gestiegen sind und der Schaum verschwunden ist. Stelle die Bürette so ein, daß der Flüssigkeitsspiegel darin und im Meßgefäß gleich hoch liegt, lies die Temperatur ab und schreibe den Stand der Natronlauge in der Bürette auf.

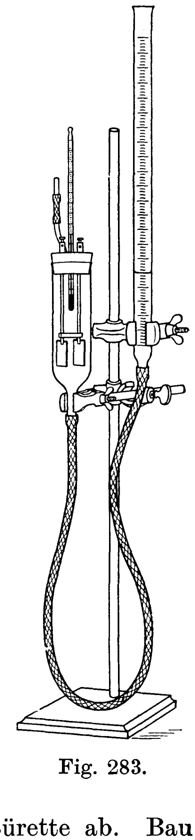

Fig. 283.

b) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt des Stromschlusses auf und halte von nun an, wenn nötig, durch Änderung des Widerstandes das Amperemeter und die östliche Zeigerspitze der Bussole genau über der früher abgelesenen Stelle der Teilung.

c) Unterbrich genau nach 3 Minuten den Strom, klopfe leise gegen das Elektrodengefäß, stelle die Bürette so ein, daß die Natronlauge in beiden Behältern gleich hoch steht, und lies die Temperatur und den Stand der Natronlauge in der Bürette ab.

d) Schließe den Strom, schreibe genau die Zeit auf, halte wie vorher die östliche Zeigerspitze der Bussole durch Ändrung des Widerstandes stets genau über derselben Stelle der Teilung und laß den Strom 6 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Lies wie vorher die Temperatur und den Stand der Natronlauge in der richtig eingestellten Bürette ab. Bau ab und bringe alle Geräte in Ordnung.

e) Lies den Barometerstand ab.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . . . . Windungen.

Barometerstand $b = . . .$ [mm].

Ablenkung der Ostspitze des Bussolenzeigers $\alpha = . . .^0$

		I	II	III
Beginn der Elektrolyse				
Schluß der Elektrolyse				
Dauer der Elektrolyse in Sekunden				
Flüssigkeitsstand in der Bürette	bei Beginn			
	am Schluß			
Verdrängte Flüssigkeitsmenge in cm^3				
Temperatur in ^{0} C				
Spannkraft e des Wasserdampfs in mm Quecksilber				
Spannkraft über der Natronlauge $e - 0{,}07\,e$ . .				
Druck p des trocknen Knallgases in mm . . .				
Raum V_0 des Knallgases bei 0° und 760 mm in cm^3				

g) Welche Ionen enthält die Natronlauge? *$Na^{\cdot}$ und OH'.* Aus welchen beiden Teilen besteht das Natriumion? Wie wirkt das Natrium, das sich an der Kathode abscheidet, auf das Wasser? $Na + H_2O = NaOH + H$. Welches Gas entwickelt sich also an der Kathode? Aus welchen beiden Teilen besteht das Hydroxylion? Wie zerfällt das Hydroxyl, das sich an der Anode abscheidet? $2\,OH = H_2O + O$. Wieviel Na muß an der Kathode auftreten, wenn sich an der Anode $2\,OH$ abscheiden?

$$2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + 2H \qquad 2\,OH = H_2O + O.$$

Was wird also scheinbar durch den Strom zerlegt? In welchen Raumverhältnissen scheiden sich Wasserstoff und Sauerstoff ab? Wie heißt die Mischung beider Gase in diesen Raumverhältnissen? Wieviel Gramm Wasserstoff entwickeln sich an der Kathode, wenn sich dort 2 Grammäquivalente Natrium abscheiden? 1,008 · 2 gr. Wieviel Gramm Sauerstoff entwickeln sich an der Anode, wenn sich dort *2* Grammäquivalente Hydroxyl abscheiden? *8 · 2 gr.* Wieviel Gramm Knallgas entwickeln sich also?

h) Mit 1 Grammäquivalent Natrium wandern 96540 Coulomb. Wieviel Coulomb werden also von 2 Grammäquivalenten Natrium mitgeführt? Wieviel Gramm Knallgas scheidet daher 1 Coulomb ab? 18,02 gr : (96540 · 2) = 0,0933 mg. Die Molarformel für Wasser ist $2H_2 + O_2 = 2H_2O$, die Dichte des Wasserstoffes bei 0° und 760 mm ist 0,00090 gr/cm^3

und die des Sauerstoffes 0,00143 gr/cm³. Wieviel Kubikzentimeter nehmen 1,01 · 2 · 2 gr Wasserstoff ein? Wieviel Kubikzentimeter nehmen 16 · 2 gr Sauerstoff ein? Welchen Raum erfüllen demnach 36,04 gr Knallgas? Welchen Raum nehmen also die 0,0933 mg Knallgas ein? 0,174 cm³ von 0° und 760 mm Quecksilberdruck.

i) Wieviel Kubikzentimeter Knallgas wurden bei den obigen drei Versuchen abgeschieden? Welche Temperatur hatte jedesmal das Gas? Unter welchem Druck stand das Gas? Barometerdruck. War das Gas trocken oder mit den Dämpfen gemischt, die aus der Natronlauge aufstiegen? *Der Druck des Wasserdampfes über einer* $2n \cdot NaOH$*-Lösung ist um* $\sim 7\,\%$ *geringer als über reinem Wasser.* Schlage die Spannkraft e des Wasserdampfes nach, die der gemessenen Temperatur entspricht, und ziehe davon 7 % ab. KOHLRAUSCH[10] *625 Taf. 13.* Der Druck p des trocknen Knallgases ist gleich dem Barometerstand, vermindert um diesen Druckunterschied.

$$p = b - e\,(1 - 0{,}07).$$

Welchen Raum V_0 nehmen also die gemessenen Kubikzentimeter bei 0° und 760 mm ein? Ziehe den ersten Raum vom zweiten und diesen vom dritten ab. Die beiden Unterschiede sind die Räume der Gasmengen, die der Strom in den gemessenen Zeiten τ erzeugt hat. Wie verhalten sich die Dauern τ der Elektrolysen, wie die Räume V_0 und wie die Massen m der Knallgasmengen, die sich in diesen Zeiten entwickelt haben, zueinander?

k) Jedes Coulomb scheidet 0,174 cm³ Knallgas von 0° und 760 mm ab. Wie groß war also die Anzahl Coulomb, die in 9 Minuten durch das Knallgascoulombmeter geflossen sind? Wieviel Coulomb strömten in einer Sekunde hindurch? Wie groß war die Stromstärke, in Ampere gemessen? Wieviel zeigte das Amperemeter an? Wie groß war die Ablenkung der Tangentenbussole?

l) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Amperemeters richtig waren. Wieviel Coulomb sind also in den 9 Minuten hindurhgeflossen? Wieviel Kubikzentimeter Knallgas von 0° und 760 mm wurden abgeschieden? Wie groß ist die Masse dieser Gasmenge? Wie groß ist also das elektrochemische Äquivalent des Knallgases? Stimmt diese Zahl mit dem oben (h) berechneten Wert überein?

Bemerkungen. Über die Ausführung des Versuchs ohne Amperemeter vgl. Aufgabe 9.

Knallgascoulombmeter. W. A. ROTH, *Physikalisch-chemische Übungen 136.* Ein oben offener Glaszylinder von 12,5 cm Höhe und 3,7 cm Durchmesser ist unten zu einem Schlauchansatz verjüngt und oben mit einem Stopfen verschlossen, durch dessen 4 Öffnungen ein Thermometer, eine Auslaßröhre und zwei Nickeldrähte mit Nickelelektroden (2,8 cm × 3 cm) hindurchgeführt sind. Dieses Elektrodengefäß wird durch einen Schlauch von 75 cm Länge mit einer Bürette verbunden, die 75 cm³ faßt und in 0,1 cm³ geteilt ist. Verschiedene Formen von Gasvoltametern findet man beschrieben bei: ABRAHAM *2, 250 Nr. 81.* AYRTON *39 Nr. 9.* BOWER and SATTERLY *306 Nr. 198, 4.* HADLEY *228 Nr. 35.* N. M. HOPKINS *90.* HORTVET *212.* LINEBARGER, *School Science 1, 487; 1902.* LOUDON and MCLENNAN *216.*

F. C. G. Müller *286, 288.* Noack, *Leitf. 20 Nr. 132.* Noack, *Aufg. 141 Nr. 126.* Schuster and Lees, *Intermed. Course 212 Nr. 41.* W. R. Smith, *School Science 1, 259; 1902.* Stroud *243 Nr. 13.* Woollcombe *4, 55.*

Über eine verkürzte Reduktion von Gasmengen vgl. H. Rebenstorff, *Phys. Zeitschr. 8, 613; 1907.*

Während des Druckes machte mich Prof. Dr. H. Böttger darauf aufmerksam, daß R. A. Lehfeldt *(The Electrochemical Equivalents of Oxygen and Hydrogen, Phil. Mag. (6) 15, 614—627, 1908)* die Frage untersucht hat, welche Elektrolyte im Knallgascoulombmeter die besten Ergebnisse liefern. Nach Lehfeldts Feststellungen wäre statt der 2 n-Natronlauge eine 5- bis 10prozentige Lösung von Kaliumdichromat oder eine 10- bis 13prozentige Lösung von Natriumsulfat (30 gr Glaubersalz in 100 cm^3 Wasser) zu verwenden.

Man weise die Schüler an, den Flüssigkeitsstand stets in der wagerechten Ebene abzulesen, die den Meniskus berührt, und dabei das Auge so zu halten, daß es gegen das Fenster und nach einem fernen Punkt in der Sehlinie blickt und bei der Ablesung den Meniskus ungefähr damit zur Deckung bringt. Man kann den Schülern auch kleine Spiegelstücke geben, die sie parallel zur Teilung so halten, daß das Spiegelbild des beobachtenden Auges in den abzulesenden Punkt fällt. Vgl. Teil 1, Aufg. 15 S. 28. Man ermahne die Schüler, vor allen Ablesungen leise seitlich gegen das Elektrodengefäß und gegen die Bürette (auch gegen das Barometer) und bei der Tangentenbussole und dem Amperemeter gegen das Gehäuse zu klopfen.

Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 12 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 13 ausführen.

13. Aufgabe. *Wie verhält sich die ausgeschiedene Knallgasmasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Knallgases?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 12, nur verwendet man, falls auch eine Tangentenbussole eingeschaltet wird, statt des Ausschalters eine Wippe.

Anleitung. **a)** Verfahre wie in Aufgabe 12 (a) bis (c), doch lasse einen Strom von 0,6 Ampere 8 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Schalte, falls nur eine Tangentenbussole (4 Windungen) benutzt wird, die Wippe so ein, daß bloß in der Bussole, nicht aber im übrigen Stromkreis, die Stromrichtung umgekehrt werden kann (Fig. 282). Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen beider Zeigerspitzen ab und schreibe jede Minute die Stellungen beider Zeigerspitzen auf. Halte durch Änderung des Widerstandes die Zeigerspitzen in ihren ursprünglichen Stellungen. Lies auch jede Minute das Amperemeter ab. Wende nach 4 Minuten den Strom.

b) Wiederhole den Versuch, doch wähle den Widerstand so groß, daß die Stromstärke 0,4 A beträgt, und laß diesen Strom 12 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Wende nach 6 Minuten den Strom. Baue ab und bringe die Geräte in Ordnung.

c) Lies den Barometerstand ab.

d) Trage die Ergebnisse in eine Tafel ein, die wie bei Aufgabe 12 (f) eingerichtet und nur um eine Zeile für die Stromstärken J vermehrt ist. Nimm als Amperezahl J den Mittelwert aus allen Ablesungen jeder Versuchsreihe. Schreibe, falls die 4 Windungen der Tangentenbussole benutzt worden sind, die Ablesungen der Zeigerspitzen wie bei Aufgabe 10 (c) auf und bilde aus den Werten von $\operatorname{tg} \alpha$ das Mittel μ. Berechne wie in Aufgabe 10 (d) die Stromstärken bei beiden Versuchen und vergleiche sie mit den Angaben des Amperemeters.

e) Berechne aus den Dauern der Elektrolysen und den dabei herrschenden mittlern Stromstärken die Elektrizitätsmenge, die bei jeder der beiden Messungen durch das Coulombmeter geflossen ist.

f) Wie verhalten sich die ausgeschiednen Knallgasmassen zu den Elektrizitätsmengen, die durch das Coulombmeter hindurchgeflossen sind? Vgl. Aufg. 12 (g) bis (k).

g) Berechne aus beiden Versuchsreihen, sowohl aus den Angaben des Amperemeters, als auch aus den Ablenkungen der Magnetnadel, die Knallgasmasse, die von einem Coulomb mitgeführt worden ist. Wie stimmt das Ergebnis mit dem Wert für das elektrochemische Äquivalent des Knallgases überein, der in Aufgabe 12 erhalten worden ist?

Bemerkung. Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppe die Aufgabe 12 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 13 ausführen.

14. Aufgabe. *Wie groß ist der Reduktionsfaktor der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsortes?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 12, doch ohne Amperemeter.

Anleitung. a) Schalte das Coulombmeter wie bei Aufgabe 10 in den Stromkreis, doch laß den Strommesser weg. Lies die Nullagen beider Zeigerspitzen ab. Stelle den Widerstand so ein, daß die Ablenkung der Bussolennadel $\sim 45^{0}$ wird. Unterbrich den Strom, klopfe leise gegen die Wand des Elektrodengefäßes, warte, bis die Gasblasen zum Flüssigkeitsspiegel emporgestiegen sind, miß wie in Aufgabe 12 den Raum des Knallgases, schreibe die Temperatur auf und lies den Nullpunkt der Bussole ab.

b) Schließe den Strom, schreibe genau den Zeitpunkt auf, lies jede Minute die Bussole ab. Unterbrich den Strom, sobald $\sim 20\,\text{cm}^3$ der Flüssigkeit verdrängt worden sind, bestimme genau den Raum und die Temperatur des Gases.

c) Schließ in einem aufzuschreibenden Zeitpunkt den Strom, doch so, daß er durch die Bussole in der entgegengesetzten Richtung wie vorher fließt, lies jede Minute die Zeigerstellung ab. Unterbrich den Strom, wenn im ganzen $\sim 40\,\text{cm}^3$ Flüssigkeit verdrängt worden sind, und bestimme genau den Raum und die Temperatur des Gases. Schreibe die Nullagen beider Zeigerspitzen der Bussole auf.

d) Lies den Barometerstand ab.

e) Schreibe die Ergebnisse der Coulombmetermessungen wie in Aufgabe 12 (f) und die Bussolenablesungen wie in Aufgabe 10 (c) auf.

f) Berechne für alle drei Beobachtungen den Raum, den das abgeschiedne trockne Knallgas bei 0^0 und 760 mm einnehmen würde, und ziehe den ersten Raum vom zweiten und diesen vom dritten ab. Die Unterschiede sind die Räume der Gasmassen, die in den beobachteten Zeiten durch den Strom erzeugt worden sind. Nimm für jede der beiden Zeitdauern das Mittel aus den Tangenten der Ablenkungen. Ist μ der Mittelwert der Tangenten und C der Reduktionsfaktor, so ist die mittlere Stromstärke $J = C\mu$. Werden bei 0^0 und 760 mm in τ sek V_0 cm³ Gas frei gemacht, dann ist $V_0 = V_1 C \mu \tau$, wo V_1 der Raum der Knallgasmenge bei 0^0 und 760 mm ist, die 1 Coulomb abscheidet. Nach Aufgabe 12 (h) ist $V_1 = 0{,}174$ [cm³], folglich

$$C = \frac{V_0}{0{,}174 \mu \tau}.$$

g) Berechne wie in Aufgabe 12 die Werte von C aus den Elektrolysen vor dem Wenden und nach dem Wenden des Stromes und bilde aus beiden Ergebnissen den Mittelwert.

h) Verfahre ferner wie in Aufgabe 11 (b) und (c).

IV. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes.

15. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der hindurchfließenden Elektrizitätsmenge ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Kalorimeter mit Heizdraht von 3 Ohm Widerstand. Thermometer. Tangentenbussole (4 Windungen) oder Amperemeter (bis 2 A). 3 Sammler. Stromschwächer (1 m Manganindraht von 0,3 mm Durchmesser). Volkmannsche Klemme. Leitungsschnüre. Wippe oder Ausschalter. Petroleum (destilliertes Wasser, Terpentinöl, Anilin, Toluol, Xylol). Meßzylinder. Wage. Gewichtsatz. Stechuhr. Größerer Behälter mit kaltem Wasser. Eis. Bechergläser.

Anleitung. a) Nimm das eigentliche Kalorimetergefäß (Fig. 284) aus seinem Schutzmantel, entferne den Einsatz, wäge das Kalorimeter, fülle es mit 400 cm³ der Flüssigkeit, die der Lehrer angibt, und wäge von neuem. Wie groß ist die Masse der Flüssigkeit im Kalorimeter? Stelle das Kalorimeter in ein Blechgefäß und dieses in den großen Behälter mit kaltem Wasser und kühle das Kalorimeter nebst Einsatz $\sim 4^0$ unter die Zimmerwärme ab.

b) Setze das Kalorimeter K in die Schutzhülle, schalte es nach Fig. 285 in einen Stromkreis, der aus 3 Sammlern E, einem Stromschwächer R, den 4 Windungen der Tangentenbussole T (Amperemeter) und der Wippe U (Ausschalter) besteht. Bestimme den Nullpunkt der Tangentenbussole. Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß die Ostspitze des Zeigers um 45^0 abgelenkt wird. Öffne den Strom, rühre die Flüssigkeit mit dem Thermometer gut um und lies die Temperatur ab.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, rühre öfters die Flüssigkeit vorsichtig um und lies jede Minute das Thermometer und 15 sek nachher die Stellungen der beiden Zeiger-

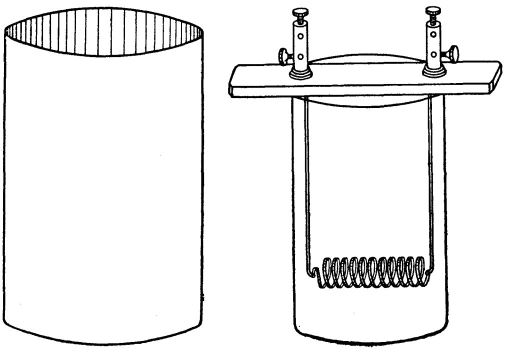

Fig. 284.

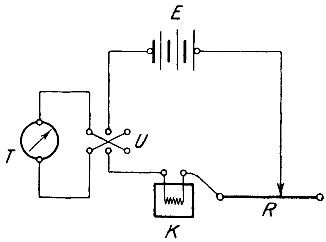

Fig. 285.

spitzen ab, vergiß bei den Ablesungen nicht, gegen die Instrumente zu klopfen, wende nach 5 Minuten den Strom und öffne ihn nach weitern 5 Minuten. Schreibe genau den Zeitpunkt auf, lies die Endtemperatur ab und bestimme wiederum die Nullstellungen der Zeigerspitzen. Halte während der 10 Minuten, wenn nötig durch Änderung des Widerstandes, die Ostspitze des Bussolenzeigers genau auf 45^0 oder, wenn ein Amperemeter eingeschaltet ist, den Zeiger auf 1 A.

d) Nimm das Kalorimeter aus dem Schutzmantel und kühle es wie vorher in dem großen Wasserbehälter auf $\sim 8^0$ unter die Zimmerwärme ab. Wiederhole die Versuche (b) und (c), doch laß jetzt den Strom, der ebenso stark wie vorher ist, genau 20 Minuten lang durch das Kalorimeter fließen und wende ihn nach 10 Minuten.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Kalorimeter Nr. . . . Wasserwert des Kalorimeters . . . grkal. Widerstand des Kalorimeters . . . Ohm. Thermometer Nr. . . . Wasserwert des Thermometers . . . grkal. Tangentenbussole Nr. . . .

Reduktionsfaktor der Bussole $C_4 = \ldots$ [A].
Masse des Kalorimeters $= \ldots$ [gr].
Masse der Kalorimeterflüssigkeit $= \ldots$ [gr].
Spezifische Wärme der Flüssigkeit $= \ldots$
Wasserwert von Kalorimeter, Flüssigkeit und Thermometer $= \ldots$ [gr].
Anzahl der Sammler . . .

	Zeit	Temperatur t	Zeigerablesungen Ostspitze	Westspitze	Mittel	α	tg α
Nullpunkt							
⋮							
						Mittel $\mu = \ldots$ $J = C_4\mu = \ldots$ [A]	

Zeitpunkt Beginn	Schluß	Versuchsdauer τ sek	Mittlere Stromstärke J A	Elektrizitätsmenge $q = J\tau$ [Coul].

Temperatur Anfangs-	End-	Steigerung	Erzeugte Wärmemengen Q grkal	Verhältnis der Versuchsdauern τ_1/τ_2	Verhältnis der Wärmemengen Q_1/Q_2

f) Nimm aus den Werten von tg α das Mittel μ und berechne daraus die Stromstärke J (vgl. S. 378).

g) Stelle die Änderung der Temperatur (Ordinate) mit der Zeit (Abszisse) graphisch dar.

h) Berechne aus den Massen des Kalorimetergefäßes und der spezifischen Wärme des Glases (0,19) den Wasserwert des Kalorimeters.

i) Senke in die Flüssigkeit eines Meßzylinders oder eines Gefäßes, das auf einer Wage austariert ist, das Thermometer so weit ein, wie es in die Kalorimeterflüssigkeit eintauchte, und bestimme so den Raum Vcm^3 dieses Thermometerstückes. Der Wasserwert des Thermometers ist dann 0,46 V. (Vgl. Kohlrausch *197*.)

k) Berechne für beide Versuche jedesmal aus dem Wasserwert von Flüssigkeit, Kalorimeter und Thermometer und aus der Temperatursteigerung die Wärmemenge Q grkal, die der Strom erzeugt hat, ferner aus der Versuchsdauer τ und der Stromstärke J die Elektrizitätsmenge $q = J\tau$, die durch den Heizdraht geflossen ist.

l) Berechne die Verhältnisse der Versuchsdauern τ_1/τ_2 und der Wärmemengen Q_1/Q_2 und vergleiche beide miteinander. Welcher Satz ergibt sich?

m) Welche Wärmemenge hat ein Coulomb bei jedem Versuch erzeugt? Q/q. Vergleiche diese Wärmemengen miteinander.

Bemerkungen. Das Kalorimeter (Fig. 286) besteht aus einem polierten Messingzylinder von 10 cm Höhe und 5 cm Durchmesser. Das Blech hat eine Stärke von 0,3 mm. Das Kalorimeter nebst Schutzmantel ist mit einem Deckel verschlossen, der 3 Durchbohrungen hat. Durch das eine Loch geht ein Thermometer, das bis 50 Grad reicht und in Zehntelgrade geteilt ist. Durch die beiden andern Durchbohrungen führen zwei Kupferdrähte von 1 mm Durchmesser, die an Klemmen sitzen. An die Enden der Drähte ist ein Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser (oder besser Widerstandsplätt) gelötet, der einen Widerstand von 5 Ohm oder 10 Ohm hat. Der Manganindraht ist um drei Glasröhren gewickelt, so daß er weder an die Kalorimeterwand noch an den Rührer auf dem Thermometer stößt. Auf das Thermometer ist ein Kupferblech geschoben, dessen Ecken umgebogen sind, so daß bei der Drehung des Thermometers die Flüssigkeit umgerührt wird. Das Kalorimeter steht, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung möglichst klein zu machen, in einem Blechzylinder auf Korkschneiden. Der Deckel schließt beide Gefäße. Diese Form hat meine Erwartungen nicht ganz erfüllt.

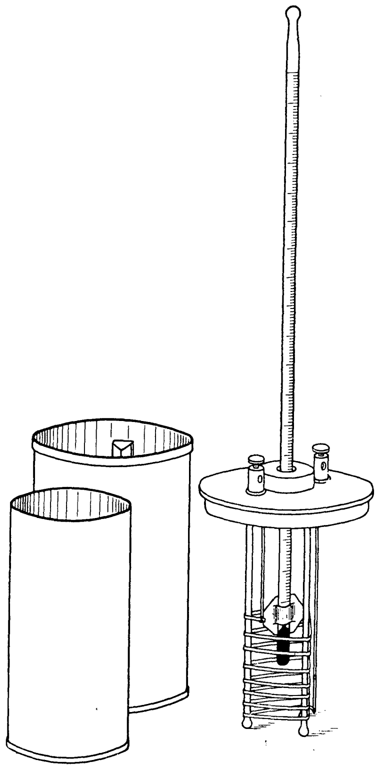

Fig. 286.

Man kann auch nach dem Vorgang von Ayrton *319* und Ostwald-Luther *204* den Heizdraht auf folgende Weise herstellen: Man rollt wie in Fig. 284 Widerstandsplätt $I^a I^a$ von 0,066 mm² Querschnitt und 3 oder 4 Ohm Widerstand zu einer Spirale und lötet die Enden an zwei Kupferdrähte von 1 mm Durchmesser, die durch einen Holzstab führen und in zwei Klemmen endigen. Die Heizvorrichtung dient zugleich als Rührer. Sie sitzt in einem Becherglas von 500 cm³ Inhalt und dies auf Korkschneiden in einem Blechzylinder. Diese Form scheint mir für Schülerübungen die geeignetste zu sein.

Andre Formen von Elektrokalorimetern sind beschrieben bei: Abraham *2, 277 Nr. 110.* Schreber-Springmann *2. 241 Nr. 202.* Ayrton *18 u. 319.* Kohlrausch *201.* Glazebrook, *Elektr. and Magn. 287.* F. C. G. Müller *140 u. 301.* Noack, *Aufg. 146.* Trowbridge *215 Nr. 217.* Whiting *471 Nr. 85.* Woollcombe *104 Nr. 34.* Das von Hadley *(174 Nr. 112 u. 228 Nr. 33)* angegebene Kalorimeter hat sich nicht bewährt.

Als Füllflüssigkeiten für das Kalorimeter kommen in Betracht Toluol (spez. Wärme 0,40), Xylol (0,40), Terpentinöl (0,42), Anilin (0,50) und Petroleum (0,51). Beim Anilin bewirken geringe Änderungen des Wassergehalts große Änderungen der spezifischen Wärme. Die Blechkannen mit der Füllflüssigkeit legt man vor dem Versuch auf Eis und kühlt sie so ab; das ist bequemer als das Abkühlen jedes einzelnen Kalorimeters. Der Leiter der Übungen hat nach Kohlrausch[10] *199* oder *203,* Ostwald-Luther *201* die spezifische Wärme der Flüssigkeit sorgfältig und wo möglich den gesamten Wasserwert von Gefäß, Thermometer und Heizdraht zu bestimmen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig verschiedne Gruppen die Aufgaben 15 bis 18 ausführen.

16. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Stromstärke ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 15, doch 4 Sammler.

Anleitung. **a)** Verfahre wie bei Aufgabe 15 (a) bis (c).

b) Nimm das Kalorimeter aus dem Mantel, kühle es bis auf 8° unter die Zimmerwärme ab und schalte es wieder in den Stromkreis der 4 Sammler. Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß die Ostspitze des Bussolenzeigers um 60° abgelenkt wird (das Amperemeter 1,5 A zeigt). Öffne den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um, lies die Temperatur ab und die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen der Bussole.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, rühre öfters die Kalorimeterflüssigkeit tüchtig um und lies jede Minute das Thermometer und 15 sek später die Stellungen der beiden Zeigerspitzen nach vorherigem Klopfen gegen die Instrumente sorgfältig ab. Wende nach 5 Minuten den Strom und unterbrich ihn nach weiteren 5 Minuten. Halte während der 10 Minuten, wenn nötig durch Änderung des Widerstandes, die Ostspitze des Bussolenzeigers auf 60° und, wenn ein Amperemeter eingeschaltet ist, dessen Zeiger auf 1,5 A.

d) Schreibe die Ergebnisse wie in Aufgabe 15 (e) auf, doch gib der letzten Tafel folgende Gestalt:

Zeitpunkt		Versuchsdauer	Mittlere Stromstärke	J^2	Elektrizitätsmenge
Beginn	Schluß	τ sek	J A		$q = J\tau$ [Coul]

Temperatur			Erzeugte Wärmemenge	Verhältnis der Wärmemengen	$\frac{J_1^2}{J_2^2}$
Anfangs-	End-	Steigerung	Q grkal	Q_1/Q_2	

e) Verfahre wie in Aufgabe 15 (f) bis (k).

f) Ändern sich die Wärmemengen wie die Stromstärken? Bilde die Verhältnisse der Wärmemengen Q_1/Q_2, der Stromstärken J_1/J_2 und der Quadrate der Stromstärken J_1^2/J_2^2 und vergleiche sie miteinander. Welchen Satz kann man aufstellen?

g) Berechne für beide Versuche die Verhältnisse Q/J^2 und vergleiche sie miteinander. Frage den Lehrer, wie groß der Widerstand des Heizdrahtes ist, und bilde die Größen $Q/J^2 W\tau$.

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15.

17. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, vom Widerstand des Drahtes ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 15, doch 4 Sammler, außerdem ein zweites Kalorimeter, dessen Heizdraht den Widerstand 4 Ohm hat.

Anleitung. a) Schalte die beiden Kalorimeter hintereinander, nimm 4 Sammler und verfahre sonst wie in Aufgabe 15 (a) bis (c), (e) und (f), (h) bis (k). Halte jedoch mit Hilfe des Widerstandes die Ostpitze des Bussolenzeigers auf 45°, kühle die Kalorimeterflüssigkeit auf $\sim$ 6° unter die Zimmerwärme ab und laß den Strom 20 Minuten durch die Kalorimeter fließen. Schreibe in die erste Tafel die Temperaturen in beiden Kalorimetern und gib der zweiten Tafel folgende Gestalt:

Zeitpunkt		Versuchsdauer τ sek	Mittlere Stromstärke J A	Elektrizitätsmenge $Q = J\tau$ [Coul]
Beginn	Schluß			

Temperatur			Erzeugte Wärmemenge Q grkal	Widerstand der Heizdrähte W Ohm	Verhältnis der Wärmemengen Q_1/Q_2	Verhältnis der Widerstände W_1/W_2
Anfangs-	End-	Steigerung				

b) Vergleiche die Verhältnisse der erzeugten Wärmemengen Q_1/Q_2 und der Widerstände W_1/W_2 miteinander. Welcher Satz ergibt sich?

c) Berechne die Wärmemengen, die in dem Widerstand ein Ohm erzeugt worden wären, Q/W, und vergleiche sie miteinander.

d) Bilde die Größen $Q/J^2 W\tau$ und vergleiche sie mit den Werten, die in Aufgabe 16 erhalten worden sind.

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15.

18. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Spannung zwischen den Drahtenden ab?*

(4 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 17, dazu noch ein Voltmeter (bis 8 V), ein Glimmerwiderstand von 1000 Ohm und eine zweite Wippe.

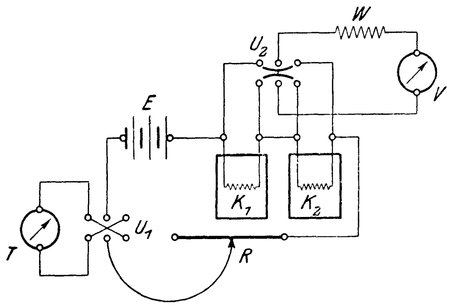

Fig. 287.

Anleitung. a) Schalte wie in Aufgabe 20, verbinde das Voltmeter und, falls es einen zu geringen Widerstand hat, den Widerstand W von 1000 Ohm und die beiden Kalorimeter wie in der Fig. 287 mit der Wippe U_2

b) Verfahre wie bei Aufgabe 17 (a) und lies 15 sek vor jeder Minute durch rasches Umlegen der Wippe die Spannungen zunächst an dem ersten und dann an dem zweiten Heizdraht ab.

c) Gib den beiden Tafeln folgende Gestalt:

	Zeit	Temperatur t		Zeigerablesungen			α	tg α	Spannungen	
		1. Kalorimeter	2. Kalorimeter	Ostspitze	Westspitze	Mittel			am 1. Kalorimeter E_1 V	am 2. Kalorimeter E_2 V
Nullpunkt										
⋮										
							Mittel $\mu = \ldots$ $J = C\mu = \ldots$ [A]		Mittel $E_1 = \ldots$ [V]	Mittel $E_2 = \ldots$ [V]

Zeitpunkt		Versuchsdauer τ sek	Mittlere Stromstärke J A	Elektrizitätsmenge $q = J\tau$ [Coul]	Temperatur		
Beginn	Schluß				Anfangs-	End-	Steigerung

Erzeugte Wärmemenge Q grkal	Widerstand W	Mittlere Klemmenspannung E V	$\frac{Q_1}{Q_2}$	$\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{Q}{E}$	$\frac{Q}{Eq}$	$\frac{Q}{J^2 W\tau}$

d) Berechne, falls vor das Voltmeter der Widerstand 1000 Ohm geschaltet worden ist, nach S. 351 aus den Ausschlägen des Voltmeters die Spannungen zwischen den Enden der Heizdrähte in Volt.

e) Vergleiche die Verhältnisse der Stromwärmen Q_1/Q_2, der Spannungen E_1/E_2 und der Widerstände W_1/W_2 miteinander. Welche Sätze ergeben sich?

f) Berechne die Wärmemengen Q/E, die bei der Spannung 1 Volt zwischen den Klemmen erzeugt würden und vergleiche diese Werte miteinander.

g) Vergleiche die Größen Q/Eq miteinander. Welches allgemeine Gesetz besteht? *Joule. Zusammenhang zwischen Wärme und Arbeit, zwischen Wärme und elektrischem Strom, Stromarbeit und Stromwärme. Stromleistung. Watt.*

h) Vergleiche die Werte von Q/Eq mit den Werten von $Q/J^2 w\tau$. Welche Beziehung ergibt sich zwischen E, J und W, wenn man beachtet, daß $q = J\tau$ ist? *Ohmsches Gesetz.*

Bemerkungen. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15. Den Glimmerwiderstand von 1000 Ohm läßt man weg, wenn das Voltmeter einen hinreichend hohen Widerstand hat.

Nach den Vorschlägen des AEF (des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen) ist die Konstante des Jouleschen Gesetzes 0,2387. *Ber. d. Deutsch. Phys. Ges. 6, 578; 1908.*

19. Aufgabe. *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

1. Verfahren.

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 18, doch ohne das Kalorimeter mit dem Heizdraht von 4 Ohm, außerdem Amperemeter (2 A) statt der Tangentenbussole und zwei Ausschalter statt der beiden Wippen.

Anleitung. a) Wäge das Kalorimeter ohne den Einsatz, fülle es mit 400 cm^3 der Flüssigkeit, so daß der Heizdraht damit bedeckt wird, wäge wiederum und kühle es auf $\sim 5^0$ unter die Zimmerwärme ab.

b) Verbinde den Heizdraht K (Fig. 288) mit einem Amperemeter A, einem Stromschwächer R, mit drei Sammlern E und einem Ausschalter U_1 zu einem Stromkreis. Verbinde ein Voltmeter V, einen Widerstand von 1000 Ohm W und einen zweiten Ausschalter U_2 mit den Enden des Heizdrahtes. Schließe den Haupt- und den Nebenstrom, sieh nach, ob die Instrumente richtig ausschlagen und das Thermometer gleichförmig steigt und regle den Widerstand so, daß die Stromstärke $\sim$ 1 A wird. Unterbrich den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um und lies die Temperatur ab.

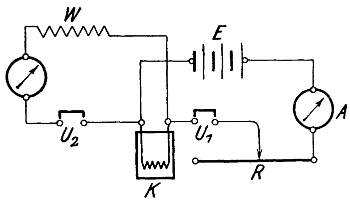

Fig. 288.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, lies jede Minute das Thermometer ab, das Voltmeter 15 sek vor und das Amperemeter 15 sek nach jeder Minute und vergiß nicht, die Flüssigkeit gut umzurühren. Fahre damit fort, bis die Temperatur des Kalorimeters um $\sim 3^0$ über die Zimmerwärme gestiegen ist, schließe nun den Strom und schreibe den genauen Zeitpunkt auf.

d) Berechne den mittlern Wert der Spannung E und die mittlere Stromstärke J oder, wenn die Unterschiede groß sind, die einzelnen Produkte EJ und daraus den Mittelwert.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Kalorimeter Nr. . . .
Widerstand des Heizdrahtes $W = \ldots$ [Ohm].
Wasserwert des Kalorimeters $= \ldots$
Thermometer Nr. . . .
Wasserwert des Thermometers $= \ldots$
Amperemeter Nr. . . .
Nullpunkt des Amperemeters . . .
Voltmeter Nr. . . .
Nullpunkt des Voltmeters . . .
Widerstand des Voltmeters $= \ldots$ Ohm.
Umrechnungsfaktor des Voltmeters bei 1000 Ohm Vorschaltwiderstand . . .
Masse des Kalorimeters $= \ldots$ gr.
Masse der Flüssigkeit $= \ldots$ gr.
Spezifische Wärme der Flüssigkeit $= \ldots$
Wasserwert von Kalorimeter, Thermometer und Flüssigkeit $= \ldots$ grkal.
Anfangstemperatur $= \ldots{}^0$ C.
Endtemperatur $= \ldots{}^0$ C.
Temperatursteigerung $= \ldots{}^0$ C.
Erzeugte Wärmemenge $Q = \ldots$ [grkal].
Mittlere Klemmenspannung $E = \ldots$ [V].
Mittlere Stromstärke $J = \ldots$ [A].
Beginn des Stromes $\ldots{}^h \ldots{}^m \ldots{}^s$.
Schluß des Stromes $\ldots{}^h \ldots{}^m \ldots{}^s$.
Stromdauer $\tau = \ldots$ [sek].
Stromarbeit $A = EJ\tau = \ldots$ [Joule].
Arbeitswert der Grammkalorie $$\mathfrak{J} = \frac{A}{Q} = \ldots \left[\frac{\text{Joule}}{\text{grkal}}\right] = \ldots \left[\frac{\text{Erg}}{\text{grkal}}\right].$$

2. Verfahren.

Literatur. E. Meritt, *Americ. Journ. of Science 37, 167.*

Geräte. Dünnwandiges Glasgefäß von 20 cm Höhe und 10 cm Durchmesser.
Glühlampe (16 oder 32 Kerzen) mit isolierter Zuleitung.
Amperemeter (bis 1 A).
Voltmeter von hohem Widerstand, das gestattet, die Spannung des Starkstromes zu messen.
Lösung von Ferrochlorid (oder Ferrosulfat oder Ferroammoniumsulfat).
2 Ausschalter.
Verbindungsdrähte.
Stechuhr.
Stativ.

Anleitung. f) Wäge das Glas, fülle es mit der Flüssigkeit, die der Lehrer angibt, so weit, daß sie späterhin die eingetauchte Birne bedeckt und noch $\sim 2{,}5$ cm über der Fassung steht, und wäge das Glas nebst Flüssigkeit. Wie groß ist die Masse der

Flüssigkeit? Kühle das gefüllte Kalorimeter um $\sim 10^0$ unter die Zimmerwärme ab.

g) Spanne die Glühlampe L (Fig. 289) in ein Gestell ein, tauche sie in die Flüssigkeit und verbinde ihre Drähte mit einem Amperemeter A, einem Ausschalter U_1 und der Starkstromleitung. Lege das Voltmeter V nebst Ausschalter U_2 zur Lampe in Nebenschluß.

h) Bestimme die Temperatur der Flüssigkeit und schließe in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird, den Strom. Lies jede halbe Minute das Amperemeter, das Voltmeter und das Thermometer ab. Rühre fortwährend die Flüssigkeit mit dem Thermometer fleißig um. Öffne, sobald die Temperatur um $\sim 10^0$ gestiegen ist, in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird, den Strom.

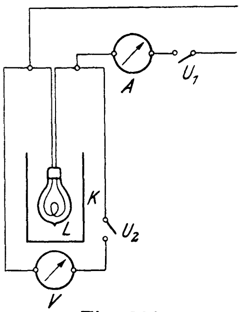

Fig. 289.

i) Verfahre wie in (d) und (e). Frage den Lehrer, wie groß die spezifische Wärme der Flüssigkeit ist.

Bemerkungen. 1. Verfahren. Das Amperemeter und das Voltmeter müssen gut geeicht sein. Hat das Voltmeter einen hohen Widerstand, so läßt man in seinem Stromzweig die 1000 Ohm weg. Man kann auch bei geringem Widerstand des Voltmeters aus diesem Widerstand und der Spannung die Stärke des Stromes berechnen, der durch das Voltmeter fließt. Vgl. S. 351. Zieht man diesen Wert von der mittlern Stromstärke im Hauptkreis ab, so erhält man die Stärke des Stromes, der durch den Heizdraht fließt.

2. Verfahren. Als Kalorimeterflüssigkeit verwende man eine Auflösung von 254 gr Ferrochlorid in 1000 cm^3 Wasser oder von 152 gr Ferrosulfat in 1000 cm^3 Wasser. Ferrochlorid ist nicht käuflich.

Grimsehl *(Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 16, 210; 1903)* benutzte Wasser, das er mit Nigrosin dunkel gefärbt hatte. Russner *(Phys. Zeitschr. 8, 120; 1907)* verwandte Ferroammoniumsulfat (300 gr in 1000 cm^3).

Man bestreiche die Fassung und die Zuführungsdrähte der Lampe dick mit Paraffin oder Zaponlack. Russner entfernt mit Beiß- und Flachzange das Gewinde, dann mit Salzsäure den Kitt und lötet an die kurzen Drahtstücke, die aus der Glasbirne herausragen, zwei stärkere Kupferdrähte, die er mit Hilfe zweier ineinandergeschobener Glasröhren voneinander isoliert. Das weitere Rohr kittet er in die Vertiefung der Glasbirne. Verwendet man anstatt einer gewöhnlichen Glühlampe eine sogenannte Kettenlampe, so kann man die Zuleitungen bequemer anlöten.

V. Ohmsches Gesetz.

20. Aufgabe. *Wie hängt die Stärke des Stromes, den eine Kette liefert, von dem Leiter ab, den der Strom durchfließt?*

(1 Schüler, $1^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Daniell.
Tangentenbussole.
Stromwender.
5 Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und 200, 160, 120, 80 und 40 cm Länge.
2 Spulen aus Manganindraht

Geräte. von 200 cm Länge und 0,25 und 0,35 mm Durchmesser.
Verbindungsklemmen.
Kurze Leitungsschnüre oder Drähte von 0,9 mm Durchmesser.
Leitungsschnur für Tangentenbussole.
Millimeterpapier.
Drahtlehre.
Quecksilber.

Anleitung. **a)** Setze die DANIELLsche Kette wie in Aufgabe 4 S. 362 zusammen und schließe sie 5 Minuten lang durch einen Draht von ~ 10 Ohm Widerstand. Stelle die Tangentenbussole *T* (Fig. 290) in der richtigen Weise (vgl. Aufg. 43) auf und bilde aus ihren 50 Windungen, der Spule *W* von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser, der Kette *E* und dem offnen Stromwender *U* einen Stromkreis. Fasse dabei die Spule stets an ihrem Holzrand an. Schließe den Strom, lies die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, wende den Strom und lies wiederum die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Unterbrich den Strom und miß mit der Drahtlehre die Dicke des Drahtes.

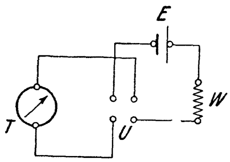

Fig. 290.

Trage die Ergebnisse der Messungen in folgende Tafel ein:

Tafel I.

Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor C_{50} = . . . [A]. Kette Nr. . . .

Spule				Zeigerablesung				Ablenkung α	tg α	Stromstärke $J = C_{50}$ tg α
Bezeichnung	Stoff	Länge l cm	Durchmesser d mm	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

b) Ersetze die 200 cm-Spule durch die andre Spule, deren Draht ebenfalls 200 cm lang und 0,25 mm dick ist, und miß die Stromstärke. Hat sie die gleiche Größe?

c) Ersetze die 200 cm-Spule der Reihe nach durch die vier andern Spulen von 0,25 mm Durchmesser, die 160, 120, 80 und 40 cm lang sind, und miß jedesmal die Stromstärke.

d) Wiederhole die Messungen (a) und (c), doch beginne diesmal mit dem kürzesten Draht.

e) Stelle die Ergebnisse der Versuche (a), (c) und (d) graphisch dar und nimm dabei die Drahtlängen als Abszissen und die Werte von tg α oder von J als Ordinaten.

f) Nimm aus je zwei zusammengehörigen Werten der Stromstärken das Mittel und sieh dies als die wahre Stromstärke an, die der zugehörigen Drahtlänge entspricht. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel und in die graphische Darstellung ein.

Tafel II.

Länge l cm	Stromstärke in A		
	J_1	J_2	Mittel $J = \frac{1}{2}(J_1 + J_2)$

Schwächung des Stromes. Widerstand. Ohm. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Länge und dem Widerstand eines Drahtes?

g) Entnimm aus der graphischen Darstellung die Stromstärken, die die Daniellsche Kette in Manganindrähten von 0,25 mm Durchmesser und 66, 132 und 180 cm Länge erzeugen würde.

h) Welche Drahtlängen würden die Stromstärken 0,1 und 0,2 A herstellen?

i) Ersetze die Spule von 0,25 mm Durchmesser durch die Spule von 200 cm Länge und 0,35 mm Durchmesser. Bestimme wie in (a) die Stromstärke und trage das Ergebnis in die Tafel I ein.

k) Miß mit der Drahtlehre sorgfältig den Durchmesser des Drahtes. Berechne die Querschnitte dieses Drahtes und des gleich langen Drahtes von 0,25 mm Dicke. Trage die Ergebnisse dieser Berechnung und der Messungen (a) und (i) in die folgende Tafel ein:

Tafel III.

Spule					Stromstärke J A	q_1/q_2	J_1/J_2
Bezeichnung	Stoff	Länge l cm	Durchmesser d mm	Querschnitt q mm²			

Welche Beziehung besteht zwischen den Querschnitten der gleich langen Manganindrähte und den zugehörigen Stromstärken?

l) Entnimm aus der graphischen Darstellung die Länge des Manganindrahtes von 0,25 mm Durchmesser, der die gleiche Stromstärke wie der 0,35 mm dicke Draht erzeugt, d. h. der den gleichen Widerstand hat.

m) Wie verhalten sich die Widerstände der beiden gleich langen Drähte von 0,25 und 0,35 mm Dicke? Vergleiche dieses Verhältnis mit dem Verhältnis der Querschnitte.

n) Ein Manganindraht von 1 m Länge und 0,25 mm Durchmesser hat 8 Ohm Widerstand. Wie groß sind die Widerstände von Manganindrähten, die 0,25 mm dick und 200 cm lang, 0,35 mm dick und 200 m lang und 0,35 mm dick und 1 m lang sind? Wie groß ist der Widerstand eines Manganindrahtes von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt? Welchen Widerstand hat ein Manganindraht von 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt?

o) Bringe die Tangentenbussole in Ordnung, nimm die DANIELLsche Kette auseinander, spüle die Tonzelle tüchtig aus und wässere sie.

Bemerkungen. Statt der Tangentenbussole kann man einen Strommesser verwenden.

Es ist wesentlich, daß man bei der Herstellung der Spulen (E. H. HALL, *Descript. List 92 Nr. 103 a—c*) die verschieden langen Stücke gleicher Drahtsorte von derselben Drahtrolle abschneidet, damit nicht die verschiedene Beschaffenheit des Drahtes die Unstimmigkeiten noch vermehrt. Die Drähte sind bifilar auf Holzspulenkasten (Fig. 291) gewickelt, die zuvor mit Paraffin getränkt worden sind. Jede Spule wird nach der Bewicklung in geschmolzenes Paraffin getaucht. Damit sich die Windungen nicht verschieben, klebe man zwei oder mehr Streifen Isolierband der Länge nach über die Spule. Die Enden der Drähte sind an zwei Kupferdrähte von 6 cm Länge und 0,2 cm Durchmesser gelötet und die Kupferdrähte mit Krammen oder Schrauben an der Spule befestigt. Die Kupferdrähte haben genau 4 cm Abstand, so daß man sie bequem in die Klemmen der WHEATSTONEschen Brücke einschieben kann. Ein Stück Draht ragt frei über die Lötstelle hinaus, so daß man jederzeit die Drahtdicke bequem messen kann. Jede Spulensorte hat eine Nummer, deren Indices die einzelnen Spulen bezeichnen. Ferner ist auf jeder Spule die Länge, der Durchmesser und der Stoff des Drahtes angegeben. Die Spulenkasten sind der Länge nach durchbohrt und auf Stifte aufgesteckt, die in einem Grundbrett sitzen (Fig. 292).

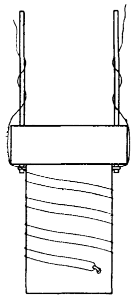

Fig. 291.

Will man die Spulen nicht der WHEATSTONEschen Brücke anpassen, so gebe man ihnen die in Fig. 253 S. 341 abgebildete Gestalt. Man kann auch den ganzen Satz von 7 Manganindrähten oder eine Auswahl daraus und den in der folgenden Aufgabe benutzten Kupferdraht auf einen einzigen Spulenkasten wickeln und diesem die nebenstehende Gestalt (Chicago

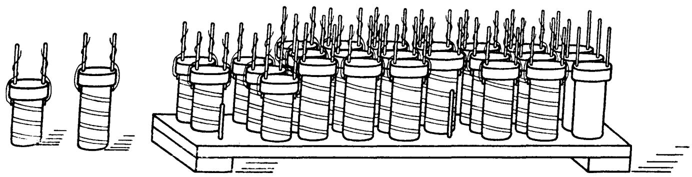

Fig. 292.

High School Form, Fig. 293) geben. Zwischen den Klemmen verzeichne man Stoff, Länge, Durchmesser und Widerstand jedes Drahtes.

Verteilt man die Messungen auf verschiedene Übungen, so gebe man den Schülern stets dieselben DANIELLschen Ketten, damit sie nahezu die gleichen Stromverhältnisse wieder herstellen können. Man muß eine **konstante** Kette, also einen DANIELL oder einen Sammler benutzen. Verwendet man die 50 Windungen der Tangentenbussole und einen Sammler, so werden die Nadelausschläge zu groß. Man kann diesen Übelstand auf mannigfache Weise beseitigen:

α) Man verkleinere durch einen Magnet, der während der ganzen Versuche dauernd an seinem Ort bleiben muß, den Ausschlag der Nadel. Hierdurch wird der Reduktionsfaktor geändert.

β) Man schließe den Sammler E (Fig. 294) durch einen Manganindraht P_1Q von 1 m Länge und 0,2 mm Durchmesser, setze etwa in der Mitte bei P_2 eine Volkmannsche Klemme an und stelle so einen geringern Spannungsunterschied her. Ist E die elektromotorische Kraft des Samm-

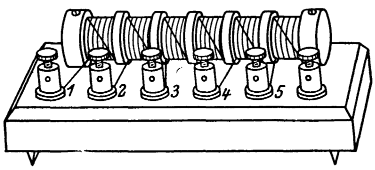

Fig. 293.

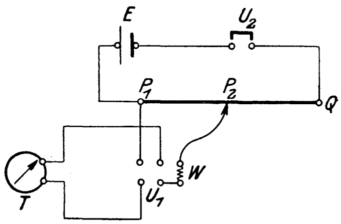

Fig. 294.

lers, R der Gesamtwiderstand des Hauptstromkreises und z der Widerstand zwischen P_1 und P_2, so ist der Spannungsabfall von P_1 nach P_2 gleich $E \cdot z/R$. (Vgl. Kohlrausch[10] *380.*)

γ) Man lege die Tangentenbussole in Nebenschluß.

δ) Das dauernde Einschalten eines Ballastwiderstandes in den Stromkreis empfiehlt sich hier nicht, da hierdurch der Fehler des Verfahrens erheblich vergrößert wird.

Statt der Tangentenbussole kann man auch den Stromprüfer von Gray benutzen. Vgl. S. 343.

21. Aufgabe. *Wie groß ist der Widerstand einer Spule aus Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser? Wie groß ist der spezifische Widerstand des Kupfers?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Daniell.
Tangentenbussole.
2 Stromunterbrecher, davon einer mit Quecksilbernäpfen.
1 Spule aus isoliertem Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser.
1 Widerstandssatz von 0,1 bis 5 Ohm oder von 1 bis 5 Ohm nebst Ohmdraht. (Vgl. S. 340.)
Verbindungsklemmen.
Kurze Leitungsschnüre oder Drähte von 0,9 mm Durchmesser.
Leitungsschnur für Tangentenbussole.
Quecksilber.

Anleitung. a) Stelle aus der Daniellschen Kette E (Fig. 295), den 50 Windungen der Tangentenbussole T, dem offnen Stromwender U_1, dem Widerstandsatz R und der Kupferdrahtspule W einen Stromkreis her, schalte dabei die Kupferdrahtspule an die beiden Quecksilbernäpfe des Unterbrechers U_2. Verbindet man diese beiden Näpfe durch einen Bügel aus 2 mm starkem Kupferdraht, so ist die Spule kurzgeschlossen, d. h. ausgeschaltet.

b) Lege im Widerstandsatz alle Bügel ein, so daß der Strom durch keine seiner Spulen fließt, und schließe den Strom. Lagere einen Magneten so, daß der Ausschlag der Bussolennadel $\sim 45^0$ wird, klopfe gegen das Gehäuse und bestimme nach $\sim$ 5 Minuten den Ausschlag der Ostspitze des Zeigers genau nach Größe und Sinn. Öffne den Strom.

c) Schalte alle Spulen des Widerstandsatzes ein, lege bei U_2 den Bügel ein und entferne so die Kupferdrahtspule aus dem Stromkreis. Schließe den Strom und schalte der Reihe nach, ähnlich wie beim Wägen, so viele Spulen aus, bis der Ausschlag der Ostspitze des Zeigers nach Größe und Richtung gleich dem Ausschlag bei dem Versuch (b) wird. Öffne den Strom.

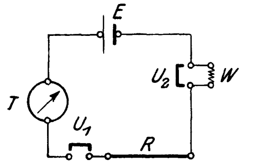

Fig. 295.

d) Gelingt es nicht, den Widerstand genau herzustellen, so bestimme die Zeigereinstellung für den nächst kleinern Widerstand R_1 und für den nächst größern Widerstand R_2. Sind α_1 und α_2 die zugehörigen Nadelablenkungen und ist α die Nadelablenkung für den Widerstand W, so ist, falls die Unterschiede klein sind,

$$\frac{W - R_1}{R_2 - R_1} = \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}.$$

Berechne hieraus W. Bei Verwendung des Ohmdrahtes fällt die Rechnung fort; man bestimmt R_1 und stellt dann durch Verschiebung des Gleitstückes auf dem Ohmdraht die Ablenkung α genau her.

e) Wiederhole den Versuch (b), doch schließe diesmal den Strom nur so lange, wie dies zur Ablesung von α erforderlich ist. Hat sich α geändert, so ist bei der Berechnung von W der Mittelwert aus den beiden Bestimmungen von α zu benutzen.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:
Tangentenbussole Nr. . . . Kupferdrahtspule Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .

	W	R_1 Ohm	R_2 Ohm	W
Eingeschalteter Widerstand				
Ablenkung α nach Sinn und Größe . .				

g) Wie groß ist der Widerstand des Kupferdrahtes von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser? *Widerstandsbestimmung durch Vertauschen.*

h) Welchen Widerstand hätte der Draht, wenn er 1 m lang und sein Querschnitt 1 mm² wäre? Welchen Widerstand hat eine Kupfersäule von 1 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt? *Spezifischer Widerstand des Kupfers.* Vergleiche Aufg. 20 (n) und berechne das Verhältnis der spezifischen Widerstände von Manganin und Kupfer. *Gesetzliche Bestimmung des Ohm.*

i) Verfahre wie bei Aufg. 20 (o).

Bemerkungen. Man halte die Schüler an, die drei Messungen (b), (c), (d) und (e) rasch hintereinander auszuführen.

Statt der Tangentenbussole kann man einen Stromprüfer oder Strommesser verwenden, besonders geeignet ist auch der Stromprüfer von Arthur W. Gray (vgl. S. 343).

Man muß eine konstante Kette, also ein Daniell oder einen Sammler, benutzen. Die Daniellsche Kette schließe man vor der ersten Messung etwa 5 Minuten lang mit der Kupferspule kurz.

Die Kupferdrahtspule ist genau so wie die Spulen in Aufgabe 20 ausgeführt.

Hat man eine Pohlesche Wippe, so kann man die Auswechslung des Widerstandsatzes und der Kupferdrahtspule rasch und bequem nach nebenstehender Schaltung (Fig. 296) ausführen.

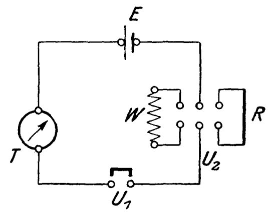

Fig. 296.

Über die Fehlerbestimmung vgl. Berndt und Boldt *2, 34 Nr. 11.*
Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 20.

22. Aufgabe. *Erfährt der elektrische Strom auch in der Kette einen Widerstand?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. E. H. Hall, *Descript. List 79 Nr. 58.*

Geräte.

Daniell, wie bei Aufgabe 4.	Glasschale von 12 cm Höhe und 15 cm Weite.
Kupferblechstreifen (vgl. S. 357) oder 1 mm starker Kupferdraht von 15 cm Länge.	Leitungsschnur für die Tangentenbussole.
Tangentenbussole.	Kurze Leitungsschnüre.
Stromwender.	Teller.

Anleitung. a) Fülle wie in Aufg. 4 (b) die Tonzelle mit verdünnter Schwefelsäure und laß sie sich mit der Flüssigkeit vollsaugen. Stelle sie dann und das etwas auseinander gebogene Kupferblech in die Glasschale. Verbinde diese Kette mit dem offnen Stromwender und den vier Windungen der Tangentenbussole zu einem Stromkreis.

b) Rücke die Tonzelle an die Glaswand und nähere, so weit wie es geht, das Kupferblech und den Zinkstreifen einander (Fig. 297 *A*). Schließe den Strom und lies unter

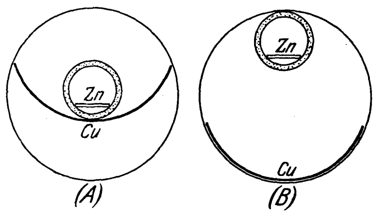

Fig. 297.

Wenden des Stromes die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Öffne den Strom und berechne die wirkliche Ablenkung α_1 der Magnetnadel.

Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:
Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor $C_4 = \ldots$ [A]. Daniell Nr. . . .

Versuch	Zeigerablesungen				Ablenkung	Stromstärke
	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel	α	J A
	+					
	—					

c) Hebe das Kupferblech und den Zinkstreifen, ohne den Abstand beider Platten zu ändern, so weit empor, daß ihre untern Enden nur noch $\sim$ 1 cm in die Flüssigkeiten eintauchen. Halte sie in dieser Lage und laß den Mitarbeiter die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ablesen. Öffne den Strom und berechne die Ablenkung α_2 der Magnetnadel.

d) Ersetze das Kupferblech durch den dünnen Kupferstreifen oder durch einen Kupferdraht, führe damit den Versuch (b) aus und bezeichne die gemeßne Ablenkung mit α_3.

e) Frage den Lehrer, wie groß der Reduktionsfaktor der Tangentenbussole ist. Schlage die Tangenten von α_1, α_2 und α_3 auf und berechne die Stromstärken J_1, J_2 und J_3. Ändert sich die Stromstärke mit der Größe der Metallplattenteile, die in die Flüssigkeiten eintauchen? *Innerer Widerstand.* Wie hängt der innre Widerstand von der Größe der Platten ab?

f) Laß die Tonzelle in Berührung mit der Glaswand und rücke, so weit wie es geht, die Metallplatten auseinander (Fig. 297 *B*). Schließe den Strom, lies die vier Stellungen der beiden Zeigerstellungen ab und unterbrich den Strom. Berechne die Ablenkung α_4 der Magnetnadel und die Stromstärke J_4. Vergleiche J_1 mit J_4. Welchen Einfluß hat der Abstand der beiden Metallplatten auf die Stromstärke und also auf den innern Widerstand der Kette?

g) Nimm die Kette auseinander, reinige die Teile, spüle besonders die Tonzelle aus und wäßre sie.

Bemerkung. Statt der Glasschale kann man auch den Trog des großen Flüssigkeitswiderstandes (S. 337) benutzen.

23. Aufgabe. *Wie hängt die Stromstärke einer gleichbleibenden Stromquelle vom äußern Widerstand ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Tangentenbussole.
Stromwender.
3 Sammler.
Widerstandsatz von 1 bis

Geräte. 100 Ohm oder 3 Spulen von 50, 100 und 150 Ohm.
Leitungsschnur für die Bussole.
Kurze dicke Leitungsschnüre.
Quecksilber.
Millimeterpapier.

Anleitung. a) Schalte die Elemente E (Fig. 298) hintereinander und in den äußern Stromkreis die 50 Windungen der Tangentenbussole T, den offnen Stromwender U und den Widerstandsatz R, bei dem alle Bügel geöffnet sind. Schalte zunächst 50 Ohm ein, schließe den Strom und bestimme unter Benutzung des Stromwenders aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen den Ablenkungswinkel.

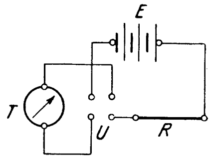

Fig. 298.

b) Bestimme ebenso die Ablenkungen, wenn die äußern Widerstände 100 und 150 Ohm eingeschaltet sind.

c) Berechne aus der Ablenkung der Nadel die Stromstärke J, aus dem eingeschalteten Widerstand R und dem des Galvanometers γ den gesamten äußern Widerstand $W_a = R + \gamma$ und ferner das Produkt $J W_a$.

Trage die Messungen und Berechnungen in folgende Tafel ein:
Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole $C_{50} = \ldots$ [A]. Widerstand der Bussole $\gamma_{50} = \ldots$ [Ohm]. Widerstandsatz Nr. . . .

Eingeschalteter Widerstand R Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	Zeigerablesungen				Ablenkung α	tg α	J A	$1/J$	$J W_a$
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel					
		+								
		—								

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und nimm dabei W_a als Abszisse und $1/J$ als Ordinate.

Bemerkungen. Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

Bei einem Sammler benutze man die Widerstände 10, 20 und 30 Ohm, bei 2 Sammlern 20, 40 und 60 Ohm und bei 3 Sammlern auch 30, 60 und 90 Ohm.

24. Aufgabe. *Wie hängt die Stromstärke einer gleichbleibenden Stromquelle vom innern Widerstand ab? Wie groß ist dieser innere Widerstand?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 3 Daniell.
Tangentenbussole.
Widerstandsatz von 1 bis 100 Ohm.
Stromwender.
Leitungsschnüre für die Bussole.
Kurze Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Schalte alle drei Ketten E hintereinander und in den äußern Stromkreis die 50 Windungen der Tangentenbussole T, den geöffneten Stromwender U und den Widerstandsatz R, dessen sämtliche Spulen eingeschaltet sind (Fig. 298). Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ($\sim$ 50 Ohm) ein, daß die Ablenkung der Bussole $\sim 45^0$ wird. Bestimme mit dem Stromwender aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen die wahre Ablenkung der Magnetnadel.

b) Schalte erst einen kleinern ($\sim$ 30 Ohm) und dann einen größern Widerstand ($\sim$ 70 Ohm) ein und bestimme für jeden die wahre Ablenkung der Magnetnadel. Öffne den Strom.

c) Frage den Lehrer, wie groß der Reduktionsfaktor C_{50} und der Widerstand γ_{50} der 50 Windungen der Tangentenbussole ist und berechne aus dem eingeschalteten Widerstand R den gesamten äußern Widerstand $W_a = R + \gamma_{50}$ und aus der Ablenkung der Magnetnadel die Stromstärke.

Trage die Messungen und Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole C_{50} = . . . [A]. Widerstand der Bussole γ_{50} = . . . [Ohm]. Widerstandssatz Nr. . . . Daniell Nr. . . .

Eingeschalteter Widerstand R Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	Zeigerablesungen				Ablenkung α	tg α	J A	$1/J$	$J W_a$	$J W_i$	E
		Sinn	Ost-spitze	West-spitze	Mittel							

d) Wir wissen, daß die Stromstärke abnimmt, wenn der äußre Widerstand wächst. Bilde aus den zusammengehörigen Werten von W_a und J die drei Produkte $W_a J$ und untersuche, ob sie gleich sind.

Es ist aber auch der innre Widerstand W_i zu berücksichtigen, also zu prüfen, ob vielleicht die Produkte $J(W_i + W_a)$ gleich einer Konstanten, sagen wir E sind, ob also die Gleichung

$$E = J(W_i + W_a)$$

besteht. Berechne unter Benutzung von je zwei zusammengehörigen Wertepaaren J und W_a mit der angenommnen Gleichung die Größe

W_i und mit dem Mittelwert der erhaltnen W_i die Größen $J\,W_i$ und E. Bestimme daraus den innern Widerstand eines DANIELL. Vergleiche den Wert von E mit der EMK eines DANIELL (vgl. Aufg. 6 S. 366). Welche physikalische Bedeutung hat die Größe E?

e) Stelle die Ergebnisse der Messungen und Rechnungen graphisch dar und wähle dabei den gesamten äußern Widerstand W_a als Abszisse und $1/J$ als Ordinate. Bezeichne beide Größen mit x und y. Es ist dann

$$E\,y = x + W_i.$$

Für $y = o$ wird $x = -W_i$. Ziehe durch je zwei Punkte der graphischen Darstellung eine Gerade, bestimme deren Abschnitte auf der x-Achse, nimm aus diesen den Mittelwert und betrachte ihn als den wahren Wert des innern Widerstandes der drei Ketten. Bestimme daraus den innern Widerstand einer DANIELLschen Kette. Vergleiche diesen Wert mit dem berechneten.

Bemerkungen. Statt der DANIELLschen kann man im Notfalle auch Trocken- oder Gnomketten verwenden.

Bezeichnet man die drei äußern Widerstände, denen die Stromstärken J_1, J_2, J_3 entsprechen, mit W_1, W_2, W_3, so ist die Bedingung dafür, daß die Gleichung $E = J\,(W_a + W_i)$ besteht und die drei Geraden der graphischen Darstellung zusammenfallen

$$J_1 J_2\,(W_1 - W_2) + J_2 J_3\,(W_2 - W_3) + J_3 J_1\,(W_3 - W_1) = 0$$

oder

$$\begin{vmatrix} J_1^{-1} & W_1 & 1 \\ J_2^{-1} & W_2 & 1 \\ J_3^{-1} & W_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

25. Aufgabe. *Welche physikalische Bedeutung hat das konstante Produkt $J\,(W_i + W_a)$?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Voltmeter (0 bis 3 V).	Ausschalter.
Amperemeter (0 bis 3 A).	Widerstandssatz oder Spulen von 1 und 5 Ohm.
Sammler.	Kurze Verbindungsschnüre.
Gnomkette.	
Trockenkette.	

Anleitung. a) Verbinde der Reihe nach die Pole jeder Kette mit dem Spannungsmesser und bestimme die elektromotorische Kraft einer jeden.

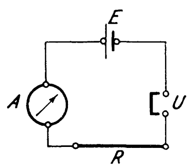

Fig. 299.

b) Schalte der Reihe nach jede Kette E (Fig. 299) mit dem Strommesser A, dem Ausschalter U und dem Widerstandsatz R in einen Stromkreis, verbinde dabei den negativen Pol der

Kette mit der negativen Klemme des Strommessers. Schalte erst 1, dann 5 Ohm Widerstand ein und lies jedesmal rasch die Stromstärke am Strommesser ab.

c) Schreibe die Beobachtungen auf folgende Art auf:

Spannungsmesser Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Widerstand des Strommessers $\gamma = . . .$ [Ohm].

Kette	Sammler Nr. . . .		Gnomkette Nr. . . .		Trockenkette Nr. . . .	
Elektromotorische Kraft E V						
Stromstärke J A						
Eingeschalteter Widerstand R Ohm	1	5	1	5	1	5
Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]						
Innerer Widerstand W_i Ohm						
$J(W_i + W_a)$						

d) Die Aufgabe 24 hat gezeigt, daß für dieselbe Kette $J(W_i + W_a)$ gleich einer Konstanten E ist. Schalten wir also in den Stromkreis einer Kette nacheinander die äußern Widerstände W_1 und W_2 ein und erhalten wir dabei die Stromstärken J_1 und J_2, so können wir W_i bestimmen. Wie lautet die Formel dafür?

e) Berechne nach der Formel

$$W_i = -\frac{J_1 W_1 - J_2 W_2}{J_1 - J_2}$$

die innern Widerstände der drei Ketten und für alle sechs Messungen die Werte von $J(W_i + W_a)$. Vergleiche diese Größen mit den gemeßnen elektromotorischen Kräften. Welche physikalische Bedeutung hat also das Produkt $J(W_i + W_a)$? *Allgemeines Ohmsches Gesetz. Gesetzliche Bestimmung des Volt.* Warum weichen bei der Gnom- und der Trockenkette die Ergebnisse etwas vom Gesetz ab? *Polarisation* (vgl. S. 358). Aus $E = J(W_i + W_a)$ folgt $E - J W_i = J W_a = P$. *Klemmenspannung.*

Bemerkungen. Diese Prüfung des Ohmschen Gesetzes ist nicht einwandsfrei, da ja die Messung der elektromotorischen Kraft mit dem Spannungsmesser die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes voraussetzt.

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen

26. Aufgabe. *Bestimme den innern Widerstand und die elektromotorische Kraft einer Daniellschen Kette.*

(1 Stunde, 2 Schüler.)

Geräte. Daniell.
Tangentenbussole.
Widerstandssatz.
Stromwender.
Leitungsschnur für die Bussole.
Kurze Leitungsschnüre.
Quecksilber.

Anleitung. a) Schließe die Kette 5 Minuten lang kurz. Stelle aus den 50 Windungen der richtig aufgestellten Tangentenbussole T (Fig. 300), dem offnen Stromwender U, dem Widerstandssatz R und der Kette E einen Stromkreis her. Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß der Ausschlag der Nadel $\sim 55^0$ wird. Bestimme unter Wenden des Stromes aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen die genaue Ablenkung α_1 der Magnetnadel.

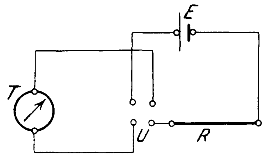

Fig. 300.

b) Schalte nun so viel Widerstand hinzu, daß die Nadel etwa um 35^0 abgelenkt wird. Bestimme in der üblichen Weise die wahre Ablenkung α_2 der Nadel.

c) Wiederhole die Messung (a) und nimm aus den beiden Werten von $\operatorname{tg} \alpha_1$ das Mittel μ und berechne daraus die Stromstärke J_1 und aus $\operatorname{tg} \alpha_2$ die Stromstärke J_2.

d) Schreibe die Ergebnisse der Messungen und Rechnungen auf folgende Weise auf:

Daniell Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor $C_{50} =$ . . . [A]. Widerstand der Bussole $\gamma_{50} =$ . . . [Ohm] Widerstandssatz Nr. . . .

Versuch	Eingeschalteter Widerstand r Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $R = (r + \gamma)$ [Ohm]	Zeigerablesungen				α_1	α_2	J A	W_i Ohm	E V
			Sinn	Ost-spitze	West-spitze	Mittel					
						$\mu = \ldots$ $J_1 = \ldots$ [A]					

e) Aus den beiden Gleichungen

$$E = J_1 (W_i + R_1) \quad \text{und} \quad E = J_2 (W_i + R_2)$$

erhält man

$$W_i = -\frac{J_1 R_1 - J_2 R_2}{J_1 - J_2} = \frac{J_2 (R_2 - R_1)}{J_1 - J_2} - R_1.$$

Berechne mit dieser Formel den innern Widerstand der Daniell-schen Kette.

f) Schaffe aus den beiden Gleichungen den innern Widerstand fort und berechne mit der erhaltnen Formel

$$E = -\frac{J_1 J_2 (R_1 - R_2)}{J_1 - J_2}$$

die elektromotorische Kraft der Kette.

Bemerkungen. Im Notfall kann man auch eine Trocken- oder Gnomkette verwenden, obwohl dann die Voraussetzungen des Verfahrens nicht mehr genau erfüllt werden. Statt der Tangentenbussole kann man einen Strommesser benutzen und dabei etwa, falls der Widerstandssatz es verträgt, $J_1 = {}^1/_2$ [A] und $J_2 = {}^1/_4$ [A] nehmen. Den Reduktionsfaktor der Bussole braucht man eigentlich nicht zu wissen, da er bei den Rechnungen herausfällt. Es empfiehlt sich, im Hinblick auf Aufgabe 33 den Widerstand zweier Daniellschen Ketten sowohl bei Reihen- als auch bei Nebeneinanderschaltung zu messen.

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

27. Aufgabe. *Wie hängt bei gleichbleibendem Gesamtwiderstand die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 3 Sammler. Tangentenbussole. Stromwender. Widerstandsatz. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Quecksilber. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Schalte die 3 Sammler E (Fig. 298 S. 401) hintereinander und bilde aus den 500 Windungen der Tangentenbussole, dem offnen Stromwender und dem Widerstandssatz einen Stromkreis. Schließe den Strom und schalte zunächst $\sim$ 150 Ohm und, wenn nötig, noch mehr Widerstand ein, bis der Ausschlag des Bussolenzeigers nur noch $\sim 60^0$ beträgt. Bestimme unter Wenden des Stromes die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen und berechne daraus die genaue Ablenkung der Nadel. Schreibe den Winkel α und die Anzahl der Ketten auf.

b) Wiederhole die Messung, ohne den Widerstand zu ändern, mit zwei und dann mit einem Sammler und schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . .
Reduktionsfaktor $C_{500} = \ldots$ [A].
Widerstand der Bussole $\gamma_{500} = \ldots$ [Ohm].
Widerstandsatz Nr. . . .
Eingeschalteter Widerstand $R = \ldots$ [Ohm].
Gesamter äußrer Widerstand $W_a = R + \gamma_{500} = \ldots$ [Ohm].

Anzahl der Sammler N	Zeigerablesungen				Ablenkung α	tg α	J A	$E = JW_a$ [V]	E/N
	Sinn	Ost-spitze	West-spitze	Mittel					
	+								
	—								

c) Es ist

$$E = J\,(W_i + W_a) = J W_a \left(\frac{W_i}{W_a} + 1\right).$$

Der innre Widerstand eines Sammlers ist sehr klein. Wie groß ist W_a und was für einen Wert hat also W_i/W_a? Berechne E aus J und W_a. *Voltmeter.* Wie ändert sich die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Elemente? Wie groß ist die elektromotorische Kraft e i n e s Sammlers?

d) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle E als Abszisse und J als Ordinate.

Bemerkungen. Bei den hohen äußern Widerständen kann man auch statt der Sammler Trocken- oder Gnomketten verwenden.

Die Aufgaben 27 bis 29 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

28. Aufgabe. *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte zweier Ketten nach dem Verfahren der gleichen Ablenkung.*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Tangentenbussole. Daniell. Sammler. Widerstandssatz. Schalter. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Schließe fünf Minuten lang die Daniellsche Kette mit einem großen Widerstand kurz. Stelle die Tangentenbussole richtig auf und bilde aus ihren 500 Windungen, dem offnen Stromwender, der Daniellschen Kette und dem Widerstandssatz einen Stromkreis. Schalte so viel Widerstand ein, daß die Ostspitze des Bussolenzeigers um 40° bis 50° im positiven Sinn abgelenkt wird. Schreibe die genaue Ablenkung nach Sinn und Größe auf.

b) Ersetze die Daniellsche Kette durch einen Sammler und ändre den Widerstand so, daß die Ablenkung der Ostspitze der Bussolennadel nach Sinn und Größe genau so groß wie vorher wird.

Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Bussolenwiderstand $\gamma_{500} = \ldots$ [Ohm]. Daniell Nr. . . . Sammler Nr. . . . Widerstandssatz Nr. . . . Ablenkung der Nadel $\alpha = + \ldots^0$.

Kette	Eingeschalteter Widerstand R Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	E_1/E_2
Daniell			
Sammler			

c) Bezeichnen R den eingeschalteten Widerstand, γ den Bussolenwiderstand, E_1 und E_2 die elektromotorischen Kräfte und J die Stromstärke, so ist

$$E_1 = J\,(W_i + R_1 + \gamma)$$
$$E_2 = J\,(W_i + R_2 + \gamma)$$

und, da man W_i gegen die übrigen Widerstände vernachlässigen darf,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + \gamma}{R_2 + \gamma}.$$

Berechne nach dieser Formel das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte.

Bemerkung. Die Aufgaben 27 bis 29 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

29. Aufgabe. *Wie muß man gleichzeitig die elektromotorische Kraft und den Widerstand ändern, um eine gleichbleibende Stromstärke zu erzielen?*

(2 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. 3 Sammler (Trocken- oder Gnomketten). Tangentenbussole. Schalter. Voltmeter (bis 7 Volt). Widerstandsatz. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Miß mit dem Spannungsmesser die Spannung der hintereinander geschalteten Sammler. Stelle aus den Sammlern, den 500 Windungen der Tangentenbussole, dem offnen Unterbrecher und dem Widerstandsatz einen Stromkreis her. Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß der positive Ausschlag der Ostspitze der Nadel $\sim 45^0$ wird.

b) Wiederhole den Versuch mit zwei und dann mit einem Sammler und schalte jedesmal so viel Widerstand ein, daß die

Ostspitze der Nadel genau über derselben Stelle der Teilung einspielt.

c) Schreibe die Ergebnisse auf folgende Weise auf:

Tangentenbussole Nr. ... Reduktionsfaktor C_{500} = ... [A]. Widerstand der Bussole γ_{500} = ... [Ohm]. Spannungsmesser Nr.... Widerstandsatz Nr....

Ablenkung der Ostspitze $\alpha = + \ldots{}^0$.

Stromstärke $J = C_{500} \operatorname{tg} \alpha = \ldots$ [A].

Anzahl der Ketten N	Spannung E V	Eingeschalteter Widerstand R Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	E/W_a [V/Ohm]
				Mittel = ... [V/Ohm]

d) Der innre Widerstand der Sammler ist gegen W_a zu vernachlässigen. Welcher Zusammenhang besteht zwischen E und W_a? Vergleiche den Mittelwert von E/W_a mit der Stärke des Stromes. Welche physikalische Bedeutung hat E/W_a?

Bemerkung. Man kann die Aufgaben 27 bis 29 gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen. Statt der Bussole kann man einen Strommesser verwenden.

30. Aufgabe. *Welche Schaltung der Ketten liefert bei gegebenem äußeren Widerstand den stärksten Strom?*

(1 Schüler, 1 (2) Stunde.)

Geräte. 2 gleiche Daniell. Tangentenbussole. Stromwender. Spannungsmesser. Widerstandsatz bis 20 Ohm. | Leitungsschnur für die Bussole. Kurze Leitungsschnüre. Quecksilber.

Anleitung. **a)** Miß nach Aufgabe 26 den innern Widerstand und die elektromotorische Kraft jeder einzelnen Kette und dann beider Ketten, sowohl wenn sie hintereinander, als auch wenn sie nebeneinander geschaltet sind, und vergleiche die Ergebnisse der Messungen mit den Berechnungen.

b) Miß mit dem Spannungsmesser die elektromotorische Kraft jeder einzelnen Kette und dann beider Ketten sowohl bei Hintereinander-, als auch bei Nebeneinanderschaltung.

c) Schalte die beiden Ketten E (Fig. 301 A) nebeneinander, d. h. verbinde Zink mit Zink und Kupfer mit Kupfer, und stelle aus dieser Verbindung, den vier Windungen der Tangentenbussole T nebst geöffnetem Stromwender U (oder dem Strommesser) und dem Widerstandsatz R einen Stromkreis her.

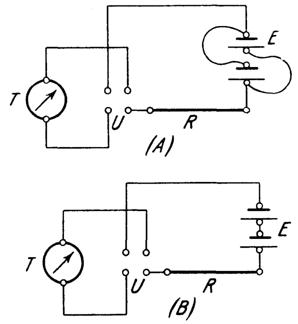

Fig. 301.

d) Schalte zunächst keine Spule des Widerstandsatzes ein und bestimme unter Wendung des Stromes aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen die wahre Ablenkung der Nadel.

e) Schalte $\sim$ 5 Ohm ein und bestimme wiederum die Ablenkung der Bussolennadel.

f) Schalte alle Ketten hintereinander (Fig. 301 *B*) und wiederhole die Versuche (d) und (e).

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktoren $C_{50} = \ldots$ [A], $C_4 = \ldots$ [A]; $\gamma_{50} = \ldots$ [Ohm], $\gamma_4 = \ldots$ [Ohm]. Spannungsmesser Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Anzahl der Ketten $N = \ldots$

Kette	E V	W_i [Ohm]
Nr. . . .		
Nr. . . .		

Schaltung		nebeneinander				hintereinander			
Eingeschalteter Widerstand R Ohm									
$W_a = R + \gamma$									
Zeigerablesungen	Sinn								
	Ostspitze								
	Westspitze								
	Mittel								
α									
tg α									
J A	beobachtet								
	berechnet								
Klemmenspannung $P = J W_a$									

h) Welche Schaltung liefert den geringsten innern Widerstand?

i) Wie wirkt die Schaltung auf die Spannung ein?

k) Welche Schaltung liefert bei geringem und welche bei großem äußerm Widerstand den stärksten Strom?

l) Es bezeichne N die Anzahl der Ketten, J_n die Stromstärke bei der Nebeneinanderschaltung und J_h die Stromstärke bei der Hintereinanderschaltung. Berechne aus den Mittelwerten von E und W_i mit den Formeln

$$E = J_n\left(\frac{W_i}{N} + W_a\right) \quad \text{und} \quad NE = J_h(NW_i + W_a)$$

die Stromstärken J_n und J_h und vergleiche sie mit den Ergebnissen der Messungen.

m) Berechne mit den Formeln

$$E - J_n\frac{W_i}{N} = J_n W_a \quad \text{und} \quad N(E - J_h W_i) = J_h W_a$$

die Klemmenspannungen.

Bemerkungen. Hat man keinen Spannungsmesser, so kann man die elektromotorischen Kräfte der Ketten und ihrer Verbindungen miteinander vergleichen, indem man die Ketten mit den 500 Windungen der Tangentenbussole verbindet, die Ablenkungen bestimmt und deren Tangenten aufschlägt. Bei der Strommessung kann man statt der Bussole ein Amperemeter verwenden.

31. Aufgabe. *Wie hängt die Spannung zwischen zwei Punkten eines Drahtes von der Stärke des Stromes ab, der durch den Draht fließt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Gefälldraht. 3 Gleitschneiden. Tangentenbussole oder Strommesser. Spannungsmesser (bis 1 V). Sammler. Stromwender. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Schalte einen Sammler E (Fig. 302) in Reihe mit einem geöffneten Stromwender U, den vier Windungen der Tangentenbussole T oder einem Strommesser und einem Meter des Gefälldrahts MN (Fig. 303). Prüfe, ob alle Verbindungen gut sind. Reinige die beweglichen Schneiden des Gefälldrahts, setze sie bei P und Q in 20 cm Abstand auf den Draht und verbinde sie mit den Klemmen des Spannungsmessers. Sieh nach, ob die Zeiger frei schwingen und auf Null stehen, wenn der Strom unterbrochen ist, der durch das Instrument fließt.

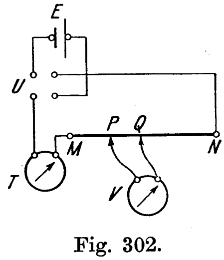

Fig. 302.

b) Schließe den Strom bei U, lies die Ablenkung erst bei V, darauf bei T und dann wieder bei V ab und schätze dabei die Zehntel der kleinsten Teilungen. Wende den Strom und wiederhole die Ablesungen. Unterbrich den Strom.

c) Laß die Schneiden auf denselben Stellen P und Q stehen, schalte mit einer dritten Gleitschneide längre oder kürzre Drahtstücke MN des Gefälldrahts ein und ändre so die Stärke des Stromes, der durch das Drahtstück PQ fließt. Mache am Spannungsmesser und der Bussole die Ablesungen genau so wie vorher.

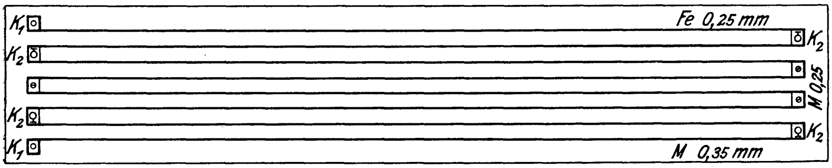

Fig. 303.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Gefälldraht Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole $C_4 = \ldots$ [A]. Spannungsmesser Nr. . . . $PQ = \ldots$ cm.

Versuch	Stromrichtung	Spannung P V	Spannung Mittel	Bussolenablesungen Ostspitze	Bussolenablesungen Westspitze	Bussolenablesungen Mittel	α	tg α	J A	P/J
	+									
	—									

e) Vergleiche die Werte von P/J miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Stärke des Stromes, der durch das Drahtstück PQ fließt, und der Spannung zwischen den beiden Enden P und Q? Welche physikalische Größe wird durch P/J gemessen? Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle dabei die Stromstärke J als Abszisse und die Spannung P als Ordinate.

Bemerkungen. Hat man nur zwei Schneiden, so lasse man P und M zusammenfallen und regle die Stromstärke durch Verschieben der zweiten Schneide, die die Rolle von N übernimmt.

Wenn die Spannungs- und Strommesser nur nach einer Seite ausschlagen, muß man den Strommesser A (Fig. 304) so schalten, daß nur im Gefälldraht der Strom gewendet wird, und in den Stromkreis des Spannungsmessers V entweder einen zweiten Stromwender einschalten oder vor dem Wenden die Drähte am Voltmeter vertauschen.

Man kann den Spannungsmesser auch durch ein Drehspulengalvanometer mit Spiegelablesung ersetzen, dessen Widerstand sehr groß ist. Hat die Drehspule einen geringen Widerstand, so schalte man ein oder mehrere Tausend Ohm vor (Fig. 305). Vgl. S. 343. Wenn nötig, lege man in den Stromkreis des Sammlers einen Ballastwiderstand; die Stromstärke muß so groß sein, daß die Ablenkung noch auf der Skala ablesbar ist, wenn man das Drahtstück PQ einschaltet.

Der Gefälldraht. Auf einem Brett (108 cm × 20 cm × 2 cm) sind in je 2 cm Abstand ein Manganindraht von 1 m Länge und 0,35 mm Durchmesser, ein Manganindraht von 6 m Länge und 0,25 mm Durchmesser und ein Eisendraht von 1 m Länge und 0,25 mm Durchmesser ausgespannt. Die Drähte sind an rechteckige Kupferscheiben (2 cm × 1,4 cm)

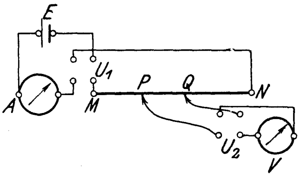

Fig. 304.

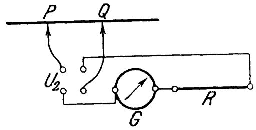

Fig. 305.

angelötet und so geführt, wie es Fig. 303 angibt. An den Lötstellen ragen freie Enden der Drähte heraus, damit man ihre Stärken messen kann. Die Dicken und die Stoffe der Drähte sind auf dem Brett angegeben. K_1 sind Klemmen mit einer und K_2 Klemmen mit zwei Durchbohrungen. Zur Abzweigung und gegebnenfalls zur Stromzufuhr dienen zwei oder drei Gleitschneiden (Fig. 306). Diese bestehen aus einem Bleiklotz (3 cm × 2 cm × 2 cm), der auf der Unterseite abgeschrägt und mit einer Mittelrinne versehen ist. Der Bleiklotz ist, mit Ausnahme der Hinterfläche, mit Siegellack überzogen. Auf seiner Vorderseite und teilweise auf der Oberseite ist ein rechtwinklig umgebogenes Messingblech befestigt, das unten in eine 2,9 cm lange Schneide ausläuft und oben eine Verbindungs-

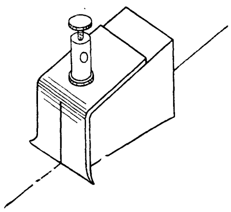

Fig. 306.

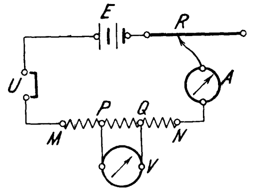

Fig. 307.

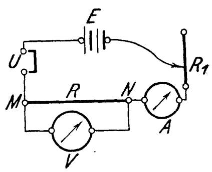

Fig. 308.

klemme trägt. Auf der Vorderseite des Messingbleches und auf der Hinterseite des Bleiklotzes ist in der Mitte ein lotrechter Strich eingeritzt, der ein scharfes Einstellen der Schneide gestattet.

Statt des Gefälldrahts kann man auch den Draht der Wheatstoneschen Brücke und zugleich einen veränderlichen Widerstand (1 m Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser) im Stromkreis des Sammlers verwenden.

Statt der Längen des Gefälldrahtes kann man auch die Widerstandspulen verwenden, die bei den Aufgaben 20 und 21 benutzt wurden (Fig. 307) oder auch Widerstandsätze (Fig. 308), doch müssen diese Widerstände und die Empfindlichkeiten der benutzten Spannungs- und Strommesser aneinander angepaßt sein.

Man kann auch 2 Sammler oder 2 bis 3 DANIELLsche Ketten einschalten und so den Spannungsabfall ändern.

Man lasse die Aufgaben 31 bis 34 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

32. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines Drahtes von gleichförmigem Querschnitt von der Länge ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 32.

Anleitung. **a)** Mache die Schaltung wie bei Aufgabe 31.

b) Stelle auf den Draht MN (Fig. 302) in 10 cm Abstand von M die Schneide P und laß sie während der Versuche dauernd dort stehen. Setze die Schneide Q in 20 cm Abstand von M auf den Draht. Schließe den Strom, halte ihn während der ganzen Versuchsreihe geschlossen und mit der dritten Schneide oder einem Stromschwächer stets auf der gleichen Stärke.

c) Warte eine bis zwei Minuten, bis die Drähte, die der Strom erwärmt, eine beständige Temperatur angenommen haben. Lies wie bei Aufgabe 31 (b) die Ablenkung der Bussolennadel und den Ausschlag des Spannungsmessers ab.

d) Bewege die zweite Schneide in Stufen von je 10 cm nach rechts bis zum Abstand 80 cm von M und dann wieder in gleichen Schritten rückwärts. Lies bei jeder Stellung der Schneide den Spannungsmesser ab. Bestimme nochmals die Ablenkung der Bussolennadel und öffne dann den Strom.

e) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole C_4 = . . . [A].
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .
Zeitpunkt der ersten Ablesung . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s} Stromstärke J = . . . [A].
Zeitpunkt der letzten Ablesung . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s} Stromstärke J = . . . [A].

MP cm	MQ cm	PQ l cm	Spannung P			Änderung der Spannung	P/l
			vorwärts	rückwärts	Mittel		

Die 7. Spalte mit dem Kopf „Änderung der Spannung" enthält die Unterschiede von je zwei aufeinanderfolgenden Zahlen der voranstehenden Spalten, d. h. den Spannungsabfall für je 10 cm des Drahtes.

f) Wende den Strom, schalte, wenn nötig, den Spannungsmesser (und den Strommesser) um, wiederhole alle Beobachtungen und trage sie in eine zweite Tafel ein.

g) Stelle die Ergebnisse graphisch dar, wähle dabei die Länge l als Abszisse und die Spannung P als Ordinate.

h) Welche Beziehungen bestehen zwischen dem Strom, der durch den Spannungsmesser fließt, und der Länge des Drahtstückes PQ, ferner zwischen dieser Länge und dem Widerstand von PQ, also zwischen jenem Strom und diesem Widerstand? Jener Strom hängt von der Spannung zwischen P und Q ab. Welche Beziehung besteht also zwischen dem Spannungsabfall und dem Widerstand von P bis Q?

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 31.

33. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines gleichförmigen Drahtes vom Querschnitt ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 32, ferner Drahtlehre.

Anleitung. **a)** Stelle wie bei Aufgabe 31 den Stromkreis her, doch schalte beim Gefälldraht 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser ein und davor noch den Meter Manganindraht von 0,35 mm Dicke.

b) Stelle auf den Draht von 0,25 mm Durchmesser die Schneiden P und Q in 10 cm Abstand und verfahre wie bei Aufg. 32 (b) und (c). Lies den Ausschlag des Spannungsmessers und die Ablenkung der Bussolennadel ab. Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

c) Stelle nun die beiden Schneiden in 10 cm Abstand auf den Draht des Ausgleichers, der 0,35 mm Durchmesser hat, und wiederhole die Messungen.

d) Miß die Dicke jedes Drahtes mitten zwischen den Stellen, auf denen die beiden Schneiden saßen, und trage die Durchmesser und die Querschnitte der Drähte in die folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole $C_4 = \ldots$ [A].
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .

Ablenkung der Bussolennadel $\begin{Bmatrix} + \ldots \\ - \ldots \end{Bmatrix} \ldots J = \ldots$ [A].

Stoff des Drahtes . . .

Ablesung P am Spannungsmesser			Durchmesser des Drahtes d mm	Querschnitt des Drahtes q mm²	Pq
Sinn	Auschlag	Mittel			
+					
—					

e) Wie verhalten sich die Spannungen zu den Querschnitten, die Spannungen zu den Widerständen und also die Widerstände zu den Querschnitten?

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 31.

34. Aufgabe. *Wie verhält sich der spezifische Widerstand des Eisens zu dem des Manganins?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 31, dazu Drahtlehre.

Anleitung. **a)** Stelle wie bei Aufgabe 31 den Stromkreis her, doch schalte beim Gefälldraht 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser ein und dahinter das Meter Eisendraht von 0,25 mm Durchmesser.

b) Stelle die beiden Schneiden in 80 cm Abstand auf den Eisendraht des Ausgleichers und verfahre wie bei Aufg. 32 (b) und (c). Lies den Strom- und den Spannungsmesser ab. Wende den Strom und miß von neuem.

c) Setze die Schneiden in 20 cm Abstand auf den Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und lies den Spannungsmesser ab. Lies auch den Strommesser ab, um festzustellen, ob sich der Strom nicht geändert hat. Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

d) Miß die Durchmesser der Drähte mitten zwischen den Schneiden. Berechne aus den Längen PQ (Fig. 302) die Spannung zwischen zwei Stellen jedes Drahtes, die 1 m voneinander abstehen und ferner die Spannung, wenn der Querschnitt 1 mm² ist. Diese Spannungen verhalten sich wie die spezifischen Widerstände der Drähte.

e) Schreibe die Messungen und Rechnungen auf folgende Weise auf: Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole C_4 = . . . [A]. Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . . Stromstärke J bei Beginn . . . A und am Schluß . . . A.

Stoff des Drahtes	Länge PQ l cm	Spannungsabfall P			Drahtdicke d mm	Querschnitt q mm²	P/l	$\frac{Pq}{l}$
		Sinn	Ausschlag	Mittel				
Eisen		+						
		—						
Manganin		+						
		—						

35. Aufgabe. *Wie verhalten sich bei einem verzweigten Strom die Stärken der Zweigströme zu den Widerständen der Stromzweige?*

1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 2 Daniell oder 1 bis 2 Sammler. | 2 Spulen, die eine von ∼ 5, die andere von ∼ 10 Ohm.

Geräte. Tangentenbussole.
Stromwender.
Klemmen mit 3 Durchbohrungen.
Leitungsschnur der Tangentenbussole.
Kurze Leitungsschnüre.
Quecksilber.

Anleitung. a) Schließe fünf Minuten lang die Daniell (nicht aber die Sammler) kurz.

b) Stelle nach der Schaltskizze (Fig. 309) den Stromkreis her. Verbinde die Klemmen K und L der Widerstandspulen R_1 und R_2 mit der Klemme 1 des Stromwenders U und die beiden andern Spulenklemmen M und N mit den vier Windungen der Tangentenbussole T. Verbinde ferner die Klemmen 3 und 4 des Wenders U mit den Polen der Batterie und die Klemme 2 des Wenders mit einem Draht, dessen freies Ende mit Q bezeichnet ist.

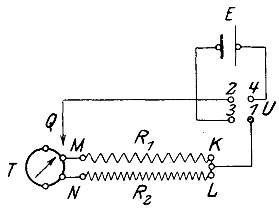

Fig. 309.

c) Verbinde das freie Ende Q des Drahtes mit der Klemme N und schließe den Strom. In welchen Stromzweig ist nun die Bussole eingeschaltet? Lies unter Wendung des Stromes die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, öffne den Strom und berechne daraus die Ablenkungen α_1' der Bussolennadel.

d) Verbinde nun Q mit der Klemme M und bestimme die Ablenkung α_2 der Bussolennadel.

e) Wiederhole die Messung (c) und bezeichne die Ablenkung der Bussolennadel mit α_1''. Öffne den Strom. Berechne aus α_1' und α_1'' den Mittelwert α_1.

f) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . und Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor der Bussole $C_4 = \ldots$ [A]. Widerstand der Bussole $\gamma_4 = \ldots$ [Ohm].

Widerstand der Spule R Ohm	Widerstand des Stromzweiges $W = R + \gamma$	Zeigerablesungen				α_1	α_2	tg α	Stromstärke der Zweige J A	JW
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel					
		+								
		−								

g) Wie verhalten sich die Widerstände (W_2/W_1) und wie die Stromstärken (J_1/J_2) der Zweige zueinander? Unterscheide die Stromrichtungen in den beiden Zweigen der Stromschleife durch das Vorzeichen der Stromstärken. Wie groß ist die Summe der beiden Produkte JW? Welche physikalische Bedeutung hat das Produkt JW

und wie kann man den physikalischen Sinn seines Vorzeichens sprachlich zum Ausdruck bringen?

h) Löse den an M sitzenden Draht von der Klemme der Bussole und verbind ihn mit N. Befestige das Drahtende Q an der so frei gemachten Klemme oder am einen Ende der einen Leitungsschnur der Bussole. Miß wie vorher die Ablenkung der Bussolennadel und berechne daraus die Stärke des Hauptstroms.

i) Vergleiche diese mit der Summe der Zweigströme. Gib den Strömen, die nach der Verzweigungsstelle fließen, das entgegengesetzte Vorzeichen der abfließenden Ströme. Wie groß ist an jeder Verzweigungsstelle die Summe der Stromstärken?

2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 3 Strommesser. 2 Widerstandsätze. 1 Sammler. 2 Verbindungsklemmen mit 3 Durchbohrungen. Gleitwiderstand (1 m Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser). Volkmannsche Klemme. Ausschalter. Kurze Verbindungsschnüre.

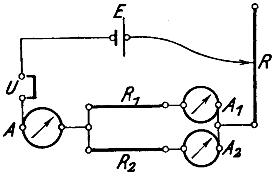

Fig. 310.

Anleitung. k) Stelle nach der Schaltskizze (Fig. 310) den Stromkreis her.

l) Schalte der Reihe nach in die beiden Zweige die Widerstände 1 und 2, 2 und 3 und 1 und 9 Ohm ein und lies für jede der drei Schaltungen die Ausschläge der drei Strommesser A, A_1 und A_2 ab.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

	Strommesser Nr.	Strommesser Widerstand	Nullpunkt
A_1			
A_2			
A_3			

Widerstandsatz $\begin{cases} R_1 \text{ Nr.} \dots \\ R_2 \text{ Nr.} \dots \end{cases}$

Stromstärke				Widerstand				$\frac{J_1 W_1}{J_2 W_2}$
J A im Stromstamm	J_1 A im 1. Zweig	J_2 A im 2. Zweig	$J_1 + J_2$	R_1 Ohm im 1. Zweig	R_2 Ohm im 2. Zweig	$W_1 = R_1 + \gamma_1$	$W_2 = R_2 + \gamma_2$	

n) Beantworte die Fragen (g) und (i). Bilde das Mittel aus den Werten von $J_1 W_1 / J_2 W_2$.

3. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei dem zweiten Verfahren, nur statt der drei Strommesser einen einzigen und zwei Widerstände, die so groß sind, wie der Widerstand des Strommessers.

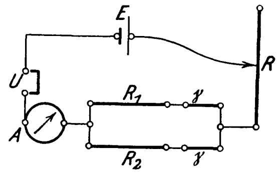

Fig. 311.

Anleitung. o) Stelle wie bei Versuch (k) eine Verzweigung her, doch schalte in den Stammstrom den Strommesser und in die Zweige die beiden Widerstände ein, die gleich dem Widerstand γ des Strommessers sind (Fig. 311).

p) Miß die Stärke J des Stammstromes. Ersetze nun der Reihe nach in jedem Zweige den Widerstand γ durch den Strommesser und miß die Stärken J_1 und J_2 der Stromzweige (Fig. 312).

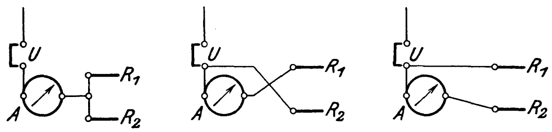

Fig. 312.

Führe die Messungen im übrigen auf die gleiche Weise wie in (l) aus und verfahre dann wie in (m) und (n).

Bemerkung. Man hüte sich bei der Stromverzweigung die Widerstandsätze über die zulässige Grenze zu belasten.

36. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen dem Leitwert einer Verzweigung und den Leitwerten der einzelnen Zweige?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

1 Daniell.	Widerstandsatz bis 20 Ohm.
Tangentenbussole.	Ohmdraht.
2 Spulen aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser.	Verbindungsklemmen.
2 Stromunterbrecher, davon einer mit 2 Quecksilbernäpfen (oder Wippe).	2 Verbindungsklemmen mit 3 Durchbohrungen.
	Leitungsschnur für die Tangentenbussole.
	Kurze Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Miß wie in Aufgabe 21 den Widerstand jeder einzelnen Spule.

b) Bestimme den Widerstand der beiden hintereinander geschalteten Spulen.

c) Schalte beide Spulen nebeneinander und miß ihren Widerstand.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . und Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . .

Widerstand der Spule Nr. . . . $W_1 = \ldots$ [Ohm].
Widerstand der Spule Nr. . . . $W_2 = \ldots$ [Ohm].
Widerstand der hintereinander geschalteten Spulen $W_h = \ldots$ [Ohm].
Widerstand der nebeneinander geschalteten Spulen $W_n = \ldots$ [Ohm].
$W_1 + W_2 = \ldots$ [Ohm].

e) Vergleiche den Widerstand der beiden hintereinander geschalteten Spulen mit der Summe der Widerstände.

f) Berechne den Leitwert $F = 1/W$ jeder Spule und die Summe ihrer Leitwerte. Vergleiche damit den Leitwert der beiden nebeneinander geschalteten Spulen.

$$F_1 = \frac{1}{W_1} = \ldots [S] \qquad F_2 = \frac{1}{W_2} = \ldots [S]$$

$$F_1 + F_2 = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \ldots [S] \qquad F_n = \frac{1}{W_n} = \ldots [S]$$

g) Vergleiche den Leitwert $F_h = 1/W_h$ der beiden hintereinander geschalteten Widerstände mit der Summe der Leitwerte der einzelnen Spulen.

Bemerkungen. Vgl. Aufg. 38 (F) S. 425.

Es sind hier folgende Vorschläge des AEF (des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen) angenommen: Der umgekehrte Wert des Widerstandes heißt Leitwert, seine Einheit im praktischen elektromagnetischen Maßsystem Siemens; das Zeichen für diese Einheit ist *S*. Der umgekehrte Wert des spezifischen Widerstandes heißt Leitfähigkeit oder spezifischer Leitwert. Vgl. *Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 6, 581; 1908.*

37. Aufgabe. *Gibt es auf den beiden Zweigen einer Stromverzweigung Stellen, zwischen denen keine Spannung besteht? Wo liegen diese Stellen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

WHEATSTONEsche Brücke. (Vgl. S. 421.)	Unterbrecher mit Quecksilbernäpfen.
Blanker Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Trocken- oder Gnomkette.
2 Gleitschneiden. (Vgl. S. 422.)	Gleitwiderstand (1 m Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser).
Stromprüfer nach PASCHEN.	VOLKMANNsche Klemme.
Stromwender.	Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Spanne zwischen den Klemmen M' und N' (Fig. 313) der WHEATSTONEschen Brücke einen blanken Kupferdraht von 0,25 mm

Durchmesser aus und befestige ihn unter der Unterlagscheibe der beweglichen Mutter. Verbinde die Klemmen des Stromprüfers G mit denen des geschloßnen Unterbrechers U_2, befestige an den Unterbrecherklemmen zwei Leitungsschnüre, die $\sim$ 1 m lang sind, und schraube an deren Enden die beiden Schneiden an.

b) Schicke den Strom einer Trockenkette E, die mit einem Stromwender U_1 und einem veränderlichen Widerstand R in Reihe geschaltet ist, durch den Kupferdraht $M'N'$. Wie verzweigt sich der Strom? Der Widerstand des Kupferdrahtes ist kleiner als der des Meßdrahtes MN. Durch welchen Draht fließt der stärkre Strom? Wie groß sind die Spannungen zwischen M und und M' und zwischen N und N'? Sind die Spannungen zwischen M und N und zwischen M' und N' verschieden?

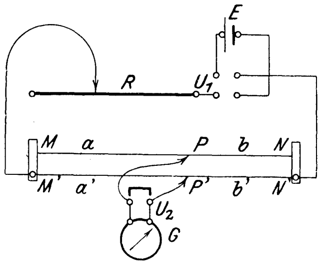

Fig. 313.

c) Halte die eine Schneide auf die Stelle P des Brückendrahtes und berühre dann mit der andern Schneide verschiedne Stellen des Kupferdrahtes, bis du eine Stelle P' gefunden hast, von der aus kein Strom durch den Stromprüfer fließt. Entferne nun den Bügel aus dem Unterbrecher U_2 und stelle die Schneide P' scharf ein. Wie groß ist die Spannung zwischen P und P'? *Äquipotentialpunkte* oder *Spannungsgleichen.* Bezeichne die Teile MP und PN, in die der Meßdraht MN durch die Schneidenstelle zerlegt wird, mit a und b und die entsprechenden Teile $M'P'$ und $P'N'$ des Kupferdrahtes mit a' und b'. Miß die Strecken a, b, a' und b'.

d) Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

e) Ändre die Stromstärke durch Verschieben der Volkmannschen Klemme auf dem Draht des Stromschwächers und wiederhole die Messungen (c) und (d).

f) Verschiebe die Schneide P und suche die neue Lage von P'. Wiederhole die Messungen (c) bis (e).

g) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Stromprüfer Nr. . . . Brücke Nr. . . .
$MN = \ldots$ cm. $M'N' = \ldots$ cm.

Versuch	Stromrichtung	$MP = a$	$M'P' = a'$	a/b	a'/b'

h) Wie teilen die Spannungsgleichen P und P' die beiden Drähte? Wie verhalten sich die Widerstände dieser Drahtstücke?

Bemerkungen. Ich habe zwei Formen der Wheatstoneschen Brücke benutzt, die im Royal College of Science South Kensington *(Syllabus 139)* gebrauchte 50 cm lange Brücke und die von E. H. Hall angegebene *(Descript.*

List 92 Nr. 106, Hall-Bergen *547 Nr. 106)* 1 m lange Harvard-Brücke. Beide Formen haben sich durchaus bewährt, doch arbeiten die Schüler mit der genauern Harvard-Brücke lieber. Diese Brücke hat folgenden Bau: Zwischen zwei starken (8 cm × 0,8 cm × 0,8 cm) Messingstücken *FM'* und *TN'* (Fig. 314) von sehr geringem elektrischem Widerstand ist über einem Meterstab aus Holz, der in Millimeter geteilt ist, ein 0,35 mm starker Konstantandraht ausgespannt und sorgfältig an die beiden Seitenstücke gelötet. *F*, *H*, *K*, *S* und *T* sind kräftige Klemmschrauben mit Knebeln. Die beiden Klemmschrauben *M'* und *N'* (Fig. 315) besitzen eine wagerechte Durchbohrung, in die man mit einer lotrechten Schraube

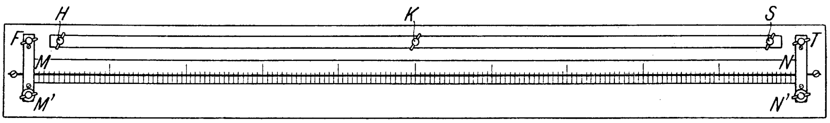

Fig. 314.

einen Leitungsdraht einklemmen kann, ferner eine bewegliche Mutter, deren Rand genau mit dem innern Rande des Seitenstücks abschneidet, so daß man damit zwischen *M'* und *N'* einen dünnen Draht von genau 1 m Länge ausspannen kann. Bei den eigentlichen Brückenmessungen wird dieser Draht entfernt. *HS* (Fig. 314) ist ein Kupferblechstreifen (95 cm × 1,5 cm × 0,05 cm). Die Klemmen *F*, *H* und *S*, *T* haben einen solchen Abstand (4 cm), daß man die dicken Kupferdrähte der Spulen, die in den Aufgaben 20 und 21 benutzt wurden, bequem und rasch einschieben kann. Das Grundbrett ist 108 cm lang, 12 cm breit und 2 cm dick.

Andere einfache Formen der Wheatstoneschen Brücke findet man bei: Adams *161.* Allen *227.* Bottone, *Electric. Instr.-Making for Amateurs 138.* Chute *226.* Gage *69 Nr. 77.* Hadley *145 Nr. 94.* Kohlrausch u. Holborn,

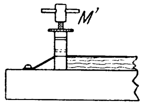

Fig. 315.

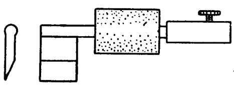

Fig. 316.

Leitvermögen d. Elektrolyte 38. Millikan-Gale *91 Nr. 32.* Nichols-Smith-Turton *202 Nr. 97 u. 207 Nr. 98.* Ostwald-Luther *343.* Schnetzler, *Elektrotechn. Experimentierbuch 94.* Stewart and Gee *2, 107.* Wiedemann-Ebert *417.*

Als Schneide dient bei eigentlichen Brückenmessungen entweder die Schneide, die bei dem Gefälldraht (S. 413) benutzt wird, oder ein Messingstück von obenstehender Gestalt (Fig. 316), das an einen Messingstab von 4,1 cm Länge und 0,35 cm Dicke gelötet ist. Auf den Stab ist ein Kork als Handgriff aufgeschoben und an seinem freien Ende eine Klemme aufgeschraubt.

Man kann bei dem Versuch auch den blanken Kupferdraht weglassen und zwischen die Klemmen *F* und *H* der Brücke eine Spule von 2 Ohm und zwischen die Klemmen *S* und *T* eine Spule von 3 Ohm Widerstand einschalten und zeigen, daß $a/b = 2/3$ usw. ist.

Man kann auch dem Kupferdraht eine beliebige Länge geben und ihn zwischen zwei Klemmen ausspannen, die in einem Holzbrett sitzen.

Verwendet man den Strompüfer von Paschen, so kann man den Unterbrecher U_2 weglassen.

38. Aufgabe. *Wie kann man mit der Wheatstoneschen Brücke Widerstände vergleichen und messen?*

(2 Schüler, 3×1 Stunde.)

Geräte. Wheatstonesche Brücke (vgl. S. 421).
Stromprüfer von Paschen.
Trocken- oder Gnomkette.
5 Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und 200, 160, 120, 80 und 40 cm Länge (vgl. S. 396).
2 Spulen aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 und 0,35 mm Durchmesser (vgl. S. 396).
1 Spule aus isoliertem Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser.
Widerstandssatz oder wenigstens 1 Spule von 5 Ohm Widerstand.
2 Klemmen mit 3 Durchbohrungen.
Stromwender.
Unterbrecher mit 2 Quecksilbernäpfen.
Drahtlehre.
Leitungsschnüre.

A. *Prüfe die Gleichheit zweier Widerstände.*

Anleitung. a) Schließe die eine Spule W (Fig. 317) von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser an die Klemmen F und H und die andre Spule von gleicher Länge und Dicke an die Klemmen S und T an. Verbinde die Kette E mit zwei zusammengehörigen Klemmen des offnen Stromwenders U_1 und die beiden andern Klemmen des Wenders mit der Klemme K der Brücke und der Schneide P. Verbinde ferner die Klemmen M und N mit den beiden Quecksilbernäpfen des Unterbrechers U_2 und diese mit den Klemmen des Stromzeigers G. Setze in die beiden Quecksilbernäpfe einen dicken Kupferbügel ein und schließe so den Stromprüfer kurz. Prüfe, ob alle Verbindungen gut und sicher sind.

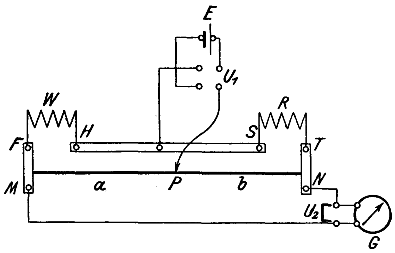

Fig. 317.

b) Schließe den Unterbrecher U_1 und berühre auf einen Augenblick den Meßdraht MN mit der Schneide P, beachte den Sinn, in dem die Nadel des Stromprüfers ausschlägt und suche dann eine Stelle auf dem Meßdraht, bei deren Berührung der Zeiger im entgegengesetzten Sinn ausschlägt. Suche unter jedesmaligem kurzen Berühren des Drahtes mit der Schneide ungefähr die Stelle, bei deren Berührung kein merklicher Ausschlag der Nadel erfolgt. Nimm nun den Bügel aus dem Unterbrecher U_2, der seither den Stromprüfer kurz geschlossen hat, und suche möglichst genau die Stelle des Meßdrahtes, bei deren Berührung kein Ausschlag der Nadel erfolgt.

Lies sorgfältig a ab, entferne die Schneide vom Draht und setze den Bügel in U_2 ein.

c) Wende mit U_1 den Strom und wiederhole die Messung. Nimm aus beiden Werten von a, falls sie nur wenig voneinander abweichen, das Mittel und berechne daraus das Verhältnis W/R beider Widerstände. Ist der Unterschied erheblich, so muß man für jeden Wert von a das Verhältnis bestimmen und daraus das Mittel nehmen.

d) Vertausche die Spulen W und R miteinander und wiederhole die Messungen (b) und (c) und berechne wieder das Verhältnis W/R der Widerstände beider Spulen. Nimm das Mittel aus allen berechneten Verhältnissen.

e) Schreibe die Ergebnisse folgendermaßen auf:

Brücke Nr. . . . Länge des Meßdrahtes $a + b = \ldots$ [mm]. Stromprüfer Nr. . . .

Versuch	Widerstand W links				Widerstand R rechts				Schneidenstellung a mm	W/R
	Spule Nr.	Stoff	Länge l cm	Durchmesser d mm	Spule Nr.	Stoff	Länge l cm	Durchmesser d mm		

B. *Vergleiche die Widerstände der Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und von 200 und 160 cm Länge.*

f) Verfahre wie bei Aufgabe (A). Wie hängt der Widerstand eines Drahtes von seiner Länge ab? Vgl. Aufgabe 20 und 32.

C. *Vergleiche den Widerstand der Spule aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser mit dem Widerstand der Spule aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,35 mm Durchmesser.*

g) Verfahre wie bei Aufgabe A. Miß die Durchmesser beider Drähte. Wie hängt der Widerstand eines Drahtes vom Querschnitt ab? Vgl. Aufgabe 20 und 33.

D. *Miß die Widerstände aller Manganindrähte.*

h) Verfahre wie bei Aufgabe A, doch ersetze die Spule R durch einen Widerstandsatz, der durch kurze Leitungsschnüre mit den Klemmen S und T verbunden wird. Setze die Schneide zunächst auf die Mitte des Meßdrahtes und schalte bei dem Widerstandsatz so viel Widerstand ein, daß der Ausschlag des Stromprüfers möglichst klein wird, und verschiebe dann die Schneide, bis die Nadel genau auf Null einspielt. Lies a ab und berechne W/R, den Widerstand W und den spezifischen Widerstand σ des Manganins. Vgl. Aufg. 20 und 34.

Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Brücke Nr. . . . Länge des Meßdrahtes $a + b = \ldots$ [mm]. Stromprüfer Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .

Versuch	Spule				Vergleichswiderstand R Ohm	Schneidenstellung a mm	W/R	W Ohm	σ
	Nr.	Stoff	Länge l cm	Durchmesser d mm					

E. *Wie groß ist der spezifische Widerstand des Kupfers?*

i) Schalte als Widerstand W die Spule aus Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser ein und als Widerstand R die 5 Ohm-Spule oder den Widerstandsatz und verfahre wie unter D.

k) Berechne aus dem Widerstand des 20 m langen Kupferdrahts den Widerstand eines Stückes, das 1 m lang ist, und daraus den Widerstand eines Kupferdrahtes, der 1 m lang ist und 1 mm² Querschnitt hat. Vgl. Aufg. 21 und 34.

F. *Wie hängt der Leitwert einer Verzweigung von den Leitwerten der einzelnen Zweige ab?*

l) Miß mit der Brücke einzeln die Widerstände der Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Dicke und von 200 und 120 cm Länge.

m) Schalte die beiden Widerstände nebeneinander und miß mit der Brücke den Gesamtwiderstand der Verbindung. Vgl. Aufg. 36.

n) Man kann auch W durch einen Widerstandsatz R_1 und R durch zwei nebeneinander geschaltete Widerstandsätze R_2 und R_3 ersetzen (kurze Leitungsschnüre), dann in den Sätzen etwa folgende Widerstände einschalten und den Gesamtwiderstand von R_2 und R_3 bestimmen.

R_1 Ohm	R_2 Ohm	R_3 Ohm
1	1	2
1	2	3
1	3	5

Bemerkungen. Der Stromprüfer soll so empfindlich sein, daß er für eine Verschiebung der Schneide um 1 mm auf dem Meßdraht noch einen deutlichen Ausschlag gibt. Statt der Stromprüfer von Paschen kann man auch das Galvanometer von Arthur W. Gray (vgl. S. 343) oder das von Grimsehl (vgl. S. 344) oder einen astatischen Multiplikator von geringem

Widerstand oder ein Drehspulen-Spiegelgalvanometer verwenden. Die Schwingungen der Stromprüfer kann man rasch zur Ruhe bringen, wenn man U_2 schließt und U_1 öffnet. Bei dem Stromprüfer von PASCHEN ist der Unterbrecher U_2 überflüssig. Stets ist der Batteriestrom zuerst zu schließen und zuletzt zu öffnen.

Die Messungen mit der Brücke fallen um so genauer aus, je näher die Schneide der Mitte des Meßdrahtes steht. Man achte darauf, daß die Schüler stets die Schneide nur kurze Zeit auf den Draht halten.

Bei Schülerübungen empfiehlt es sich, stets die Kette in den Brückenzweig zu legen, auch dann, wenn diese Schaltung nicht die günstigste ist.

Über Messungen mit der Brücke sind zu vergleichen: BERNDT-BOLDT *2, 36.* HEYDWEILLER *114.* KOHLRAUSCH, *Prakt. Phys. 423.* KOHLRAUSCH-HOLBORN *38.* OSTWALD-LUTHER *343.* STEWART and GEE *2, 439.* WIEDEMANN-EBERT *417.*

39. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines Drahtes von dessen Temperatur ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.

Trocken- oder Gnomkette.	Wasserbad.
WHEATSTONEsche Brücke.	Thermometer.
Stromprüfer nach PASCHEN.	Asbestplatte.
Widerstandsspule von 2 Ohm oder Widerstandsatz.	Dreifuß.
Temperaturspule.	Argandbrenner oder Spirituslampe.
Weißblechgefäß für die Spule.	Kurze Leitungsschnüre.

Anleitung. **a)** Setze die Temperaturspule (Fig. 318) in das Blechgefäß mit Petroleum und dies in ein Wasserbad, das auf einem Dreifuß mit Asbestplatte steht und mit einem Argandbrenner oder einer Spirituslampe erwärmt wird.

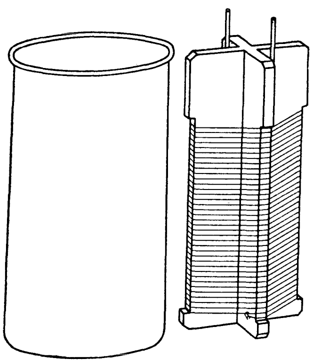

Fig. 318.

b) Schalte mit kurzen Leitungsschnüren den Widerstandsatz an die Klemmen F und H (Fig. 317) und die Temperaturspule an die Klemmen S und T der Brücke.

c) Miß nach tüchtigem Umrühren die Temperatur des Petroleums und den Widerstand der Spule.

d) Erwärme nun langsam das Bad, steigre die Temperatur des Wassers auf $\sim 20^0$, drehe die Flamme klein, rühre gut um, lies die Temperatur ab, miß den Widerstand der Spule und lies wieder die Temperatur ab.

Trage die Mitteltemperatur und die Widerstände in nachfolgende Tafel ein:

Brücke Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Stromprüfer Nr. . . . Temperaturspule Nr. . . . Vergleichwiderstand $R = \ldots$ [Ohm].

Beim Erwärmen			Beim Abkühlen		
Temperatur in C⁰	Stellung der Schneide a mm	Widerstand W Ohm	Temperatur in C⁰	Stellung der Schneide a mm	Widerstand W Ohm
	↓			↑	

e) Bestimme ebenso den Widerstand der Spule bei 30, 40, 50 und 60° C, laß abkühlen und wiederhole die Messungen bei möglichst nahezu denselben Temperaturen.

f) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle dabei die Temperatur als Abszisse und den Widerstand als Ordinate. $x = t$, $y = W$. Wo schneidet die Kurve die x-Achse? Bei welcher Temperatur hätte also der Draht keinen Widerstand?

g) Wie ändert sich nach der graphischen Darstellung der Widerstand mit der Temperatur? Sind W_0, W_1, W_2 die Widerstände bei den Temperaturen o, t_1, t_2 und ist α der Temperaturkoeffizient des Drahtes, so ist

$$W_1 = W_0 (1 + \alpha t_1) \quad W_2 = W_0 (1 + \alpha t_2),$$

also

$$\alpha = \frac{W_2 - W_1}{W_1 t_2 - W_2 t_1} = \frac{\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}}{\frac{t_2}{W_2} - \frac{t_1}{W_1}}$$

Nimm aus den beiden zusammengehörigen Temperaturen der ersten und vierten Spalte und aus den zugehörigen Widerständen die Mittel. Ordne in der nachstehenden Tafel diese Mittelwerte in zwei Gruppen I und II, berechne aus den Größen derselben Reihe jedesmal α und bilde daraus den Mittelwert.

Mittlere Temperatur t_1 °C	Mittlerer Widerstand W_1	$\frac{1}{W_1}$	$\frac{t_1}{W_1}$	Mittlere Temperatur t_2 °C	Mittlerer Widerstand W_2	$\frac{1}{W_2}$	$\frac{t_2}{W_2}$	α
(15)				(40)				
(20)				(50)				
(30)				(60)				
						Mittel $\alpha = \ldots.$		

Bemerkungen. Man kann auch statt des Petroleums Wasser oder Öl nehmen und die Widerstände der Spule bei 0^0 und bei 100^0 messen und aus beiden Messungen α berechnen.

Die Temperaturspule (Fig. 318) besteht aus 8 m Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser, der auf ein Holzkreuz aufgewickelt und mit zwei dicken Kupferdrähten verbunden ist. Sie wird in ein Blechgefäß von 15 cm Höhe und 9 cm Durchmesser gestellt.

40. Aufgabe. *Wie groß ist die elektromotorische Kraft einer Trockenkette?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Stromprüfer nach Paschen.
Gefälldraht (vgl. S. 413).
1 Sammler oder 2 bis 3 Daniell.
1 Trockenkette.
1 Daniell.
2 Stromunterbrecher, der eine mit Quecksilbernäpfen.
Leitungsschnüre.

Anleitung. **a)** Bilde aus dem Stück MN des Gefälldrahts, das 6 m lang ist, dem offnen Unterbrecher U_1 (Fig. 319) und dem Sammler E einen Stromkreis und schließe dabei M an den positiven Pol von E an. Befestige an dem positiven Pol der Trockenkette D einen Draht und daran die Schneide P, verbinde den negativen Pol von D mit dem geschloßnen Unterbrecher U_2 und mit dessen Quecksilbernäpfchen den Stromprüfer. Befestige am Unterbrecher U_2 den Draht, an dem die Schneide Q sitzt.

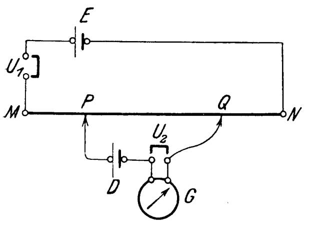

Fig. 319.

b) Schließe den Unterbrecher U_1, setze nach $\sim$ 10 Minuten P in $\sim$ 10 cm Abstand von M auf den Meßdraht MN und suche auf diesem Draht eine Stelle, auf die man die Schneide Q setzen kann, ohne daß die Nadel des Stromprüfers ausschlägt. Setze dabei die Schneide Q immer nur kurze Zeit auf den Draht. Entferne nun in U_2 den Bügel, stelle Q scharf ein, unterbrich beide Stromkreise und miß sorgfältig die Strecke PQ.

c) Setze der Reihe nach P in 20 cm, 30 cm usw. Abstand von M auf, bis Q das andre Ende von MN erreicht und verfahre genau so wie bei (b).

d) Ersetze die Trockenkette durch einen Daniell und wiederhole die Messungen (b) und (c).

e) Wiederhole die Messungen (b) und (c) mit der Trockenkette.

f) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Stromprüfer Nr. . . . Ausgleicher Nr. . . . Trockenkette Type . . . Nr. . . .

Kette	Schneidenstellungen		$PQ = l$ mm	Mittel	Hauptmittel f. Trockenkette
	MP in mm	MQ in mm			

g) Berechne für die Trockenkette das Hauptmittel aus den beiden Mittelwerten von l.

h) Welche der beiden Stellen M und N hat das höhere Potential? Welche der beiden Stellen P und Q hat das höhere Potential? In welcher Richtung würde also, wenn die Kette D nicht vorhanden wäre, ein Strom durch den Zweig PGQ fließen? In welcher Richtung sendet die Kette D einen Strom durch die Schleife PQG? Wie fließt der Strom, wenn die elektromotorische Kraft E von D größer ist als der Spannungsabfall von P bis Q und wie, wenn sie kleiner ist? Wem ist also E gleich, wenn durch den Stromprüfer kein Strom fließt? Wem ist der Spannungsabfall von P bis Q und mithin auch E proportional? Es sei E_t die elektromotorische Kraft der Trockenkette und E_d die elektromotorische Kraft des Daniells und es seien l_t und l_d die Mittelwerte aus den Drahtlängen, für die die Spannungsabfälle jenen elektromotorischen Kräften gleich sind. Welche Beziehung besteht also zwischen jenen vier Größen?

Bemerkungen. Der Widerstand des Drahtes MN muß so groß sein, daß sich der Sammler nicht rasch entladen und der Draht nicht erheblich erwärmen kann, Ist der Gefälldraht nicht lang genug, benutzt man etwa an seiner Stelle den Meßdraht einer Wheatstoneschen Brücke, so muß man in den Stromkreis des Sammlers noch einen Stromschwächer einschalten. Da die elektromotorische Kraft eines Sammlers in der ersten Zeit nach dem Stromschluß etwas sinkt, so beginne man die Messungen erst $\sim$ 10 Minuten nach dem Schließen des Sammlerstromes und halte ihn während einer Versuchsreihe dauernd geschlossen.

Man entferne aus U_2 den Bügel nur so lange, als man die Schneide Q scharf einstellt.

Über andre geeignete Stromprüfer, die den von Paschen ersetzen können, vgl. S. 425.

VI. Magnetisches Feld des elektrischen Stromes.

41. Aufgabe. *Welche Beziehungen bestehen zwischen der Richtung eines elektrischen Stromes und den Kraftlinien seines magnetischen Feldes?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. 1 Sammler oder Tauchelement oder Daniell.
Gleitwiderstand, 0,2 mm starker Manganindraht (vgl. S. 337).
Stromwender oder Stromschlüssel, der selbsttätig den Strom öffnet.
Kleine Bussole, am besten mit Gradteilung.
2,5 m isolierten Leitungsdraht von 0,9 mm Durchmesser.
Quecksilber für den Stromwender.
Papier ($\sim$ 15 cm $\times$ 15 cm).
Starke Pappe ($\sim$ 25 cm $\times$ 7,5 cm).
Stecknadeln.
Holzstab (30 cm $\times$ 1 cm $\times$ 1 cm), vgl. S. 311.
Isolierband.
Retortenständer aus Holz.
Reißbrett.

Anleitung. a) Befestige auf dem Tisch mit zwei Stecknadeln das Blatt Papier. Ziehe durch seine Mitte eine Gerade, die parallel zur Bussolennadel, also von Süden nach Norden läuft, und senkrecht dazu eine Gerade in der Richtung von Osten nach Westen. Lege die Bussole mit ihrer Mitte auf den Schnittpunkt beider Geraden und drehe sie so, daß der Nordpol über dem Nordpunkt (oder dem Nullpunkt) der Rose einspielt (Fig. 320).

b) Bilde aus dem Sammler E (Fig. 321), dem Widerstand R, dem offnen Stromwender U und dem 2,5 m langen Draht einen

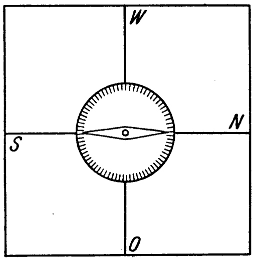

Fig. 320.

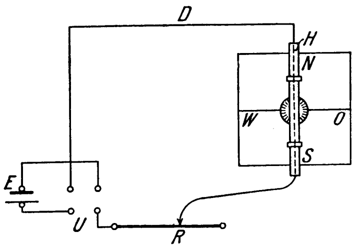

Fig. 321.

Stromkreis. Befestige mit Isolierband oder Bindfaden eine 15 cm lange gerade Strecke des Drahtes an dem Holzstab H (Fig. 322). Halte den Draht dicht über die Nadel der Bussole und genau in ihrer Richtung. Schließe den Strom so, daß er in dem geraden Drahtstück von Süden nach Norden fließt. Nach welcher Himmelsrichtung wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Regle den Widerstand so, daß die Nadel um $\sim 45^0$ abgelenkt wird. Halte die ausgestreckte rechte Hand so an den Draht, daß die Stromrichtung

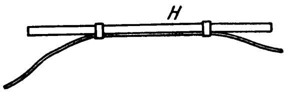

Fig. 322.

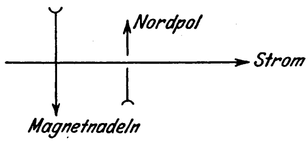

Fig. 323.

mit der Richtung der ausgestreckten Finger zusammenfällt und die hohle Hand der Magnetnadel zugewandt ist, der Draht also zwischen der Hand und der Nadel liegt, und strecke nun den Daumen aus. Weisen der Daumen und die abgelenkte Nadel nach derselben Seite? Unterbrich den Strom. Wohin weist jetzt der Nordpol der Nadel? *Daumenregel der rechten Hand.* Mache eine Skizze in das Übungsheft; stelle dabei die Magnetnadel, wenn sie über dem Draht liegt, ähnlich wie in Fig. 323 durch einen ganzen Pfeil, und wenn sie unter dem Draht liegt, durch einen durchbrochnen Pfeil und den Nordpol durch die Pfeilspitze dar.

c) Schließe den Strom so, daß er in derselben Richtung wie vorher fließt, drehe das gerade Leiterstück über der Bussole langsam bis in die Ost-Westrichtung und dann weiter, bis der Strom darin von Norden nach Süden fließt. Beobachte dabei fortwährend Richtung und Größe der Ablenkung des Nordpols der Nadel und prüfe, ob stets die Daumenregel erfüllt wird. Öffne den Strom. Stelle die Ergebnisse ähnlich wie in (b) durch verschiedene Zeichnungen dar. Wer wirkt der Ablenkung der Nadel durch den Strom entgegen? *Richtkraft der Erde.*

d) Lege den Holzstab so auf das Papier, daß das gerade Drahtstück auf der Oberseite und genau über der Süd-Nordlinie liegt. Halte die Bussole dicht über dem Draht so in der Hand (oder lege sie auf ein eingeklemmtes Stück Pappe), daß ihre Mitte wie vorher genau über dem Schnittpunkt des Achsenkreuzes auf dem Papier und ihr Nordpol über dem Nordpol der Rose liegt. Schließe den Strom so, daß er in dem geraden Drahtstück von Süden nach Norden fließt. Nach welcher Himmelsrichtung und wie stark wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Bewährt sich auch jetzt noch die Daumenregel? Drehe, ohne die Stellung der Bussole zu ändern, den Draht langsam um die Mitte des Achsenkreuzes auf dem Papier in die Ost-Westlage und dann weiter, bis der Strom darin von Norden nach Süden fließt. Beobachte dabei fortwährend die Richtung und Größe der Ablenkung und prüfe, ob stets die Daumenregel gilt. Öffne den Strom. Stelle die Ergebnisse ähnlich wie in (b) durch mehrere Zeichnungen dar. Welchen Einfluß übt der Erdmagnetismus aus?

e) Trage die Ergebnisse der Versuche (b) bis (d) in folgende Tafel ein:

Lage der Bussolennadel zum Draht	Stromrichtung	Himmelsrichtung, nach der der Nordpol abgelenkt	Größe der Ablenkung
Unter dem Draht	S $\longrightarrow$ N		

f) Wie kann man die Richtung bestimmen, nach der der Nordpol abgelenkt wird, wenn man die Stromrichtung kennt? Wie kann man die Stromrichtung feststellen, wenn man die Ablenkung des Nordpols beobachtet hat?

g) Wiederhole den Versuch (b), verschiebe dann das gerade Drahtstück p a r a l l e l z u s i c h so, daß es in derselben wagerechten Ebene wie die Bussolennadel liegt, und zwar das eine Mal östlich und das andre Mal westlich dicht neben dem Bussolengehäuse. Findet in beiden Fällen eine Ablenkung des Nordpoles statt? Öffne den Strom.

h) Wiederhole den Versuch (b) und vergrößre, während der Strom geschlossen ist, den Abstand der geraden Drahtstrecke von der Bussole. Wie ändert sich die Größe der Nadelablenkung, wenn dieser Abstand wächst. Öffne den Strom.

i) Nimm den Holzstab vom Draht weg, biege 40 cm des Drahtes zu einem Quadrat, dessen Seite 10 cm lang wird, und lege es so auf ein Reißbrett, daß zwei Seiten von Osten nach Westen laufen. Stelle so drei Windungen her und befestige sie in den Ecken durch Haken. Schließe den Sammler usw. in der Südwestecke der Spule an. (Fig. 324).

k) Halte die Bussole über die Mitte der Südseite und beobachte die Richtung, nach der der Nordpol der Nadel abgelenkt wird. Schiebe die Bussole unter dieselbe Drahtstelle und beobachte die Richtung der Nadelablenkung. Balle die Finger der rechten Hand zur Faust und halte den ausgestreckten Daumen in die Richtung des Stromes. Vergleiche die Richtungen der gekrümmten Finger

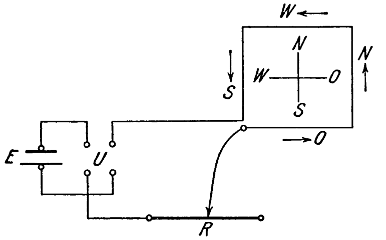

Fig. 324.

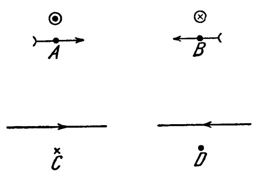

Fig. 325.

mit den Richtungen der abgelenkten Nadel, d. h. der Kraftlinien. *Regel der rechten Faust.*

l) Wiederhole die Beobachtungen in den Mitten der übrigen Seiten des Quadrates. Mache eine Zeichnung, ähnlich der Fig. 323 und stelle darin wie in Versuch (b) die Richtung dar, die die Magnetnadel an jeder Stelle annimmt. Welchen Einfluß hat der Erdmagnetismus? Öffne den Strom.

m) Ist an jeder Stelle die Daumenregel der rechten Hand erfüllt? Gilt für die wagerechte Stromschleife die Regel der rechten Faust?

n) Befestige den Holzstab wie in Versuch (b) an dem Draht und klemme das gerade Drahtstück genau lotrecht fest. Halte die Bussole dicht westlich von diesem Drahtstück so, daß der Nordpol über dem Nordpunkt der Rose liegt. Man kann die Bussole auch auf ein umgekehrtes Becherglas legen oder auf einen Holzklotz, den man auf die hohe Kante gestellt hat. Schalte den Widerstand ganz aus und schließe auf ganz kurze Zeit den Strom. Gilt hier die Regel der rechten Faust? Wende den Strom. Nach welchen Richtungen wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Mache eine Skizze der Ablenkungen in das Übungsbuch. Bezeichne dabei durch das Zeichen ⊙ einen Strom, der senkrecht aus dem Papier auf den Beschauer zufließt, durch ⊗ einen Strom, der vom Beschauer wegfließt, und durch das Zeichen • eine Kraftlinie, die senkrecht aus dem Papier auf den Beschauer zu gerichtet ist, und durch × eine Kraftlinie, die senkrecht durch das Papier hindurch von dem Beschauer weg gerichtet ist. Erkläre die Bedeutung der vier Beziehungen von Stromrichtung und Kraftlinie, die in der Fig. 325 *A*—*D* dargestellt sind.

o) Wiederhole den Versuch (n), doch stelle die Bussole östlich, nördlich und südlich vom Draht und zwar dicht daneben auf. In welchen Lagen treten Ablenkungen ein? Welchen Einfluß hat der Erdmagnetismus auf diese Erscheinungen? Schließe jedesmal nur ganz kurze Zeit den Strom. Stelle alle acht Nadelstellungen unter Benutzung der Zeichen dar, die in Versuch (n) angegeben worden sind. Beschreibt die Regel von der rechten Faust diese Erscheinungen?

p) Klemme ein Stück Pappe *A* (Fig. 326) in den Retortenhalter ein, lege die Bussole *B* darauf und drehe sie in die richtige Stellung. Schalte den Widerstand wieder ein, halte das gerade Drahtstück *C* im magnetischen Meridian wagerecht darüber, schließe den

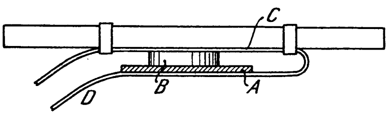

Fig. 326.

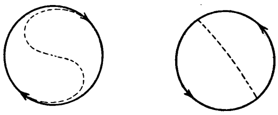

Fig. 327.

Strom so, daß er im Draht von Süden nach Norden fließt, und bestimme die Größe der Ablenkung. Bieg einen der beweglichen Drahtteile *D* so, daß er dicht unter der Pappe im magnetischen Meridian wagerecht liegt. Nach welcher Seite lenkt der obre Draht und nach welcher Seite der untre Draht die Nadel ab? Wird also die Ablenkung, die durch die Drahtschleife hervorgerufen wird, größer sein, als die, die durch jeden der beiden geraden Drahtteile bewirkt wird? Ist die Ablenkung tatsächlich größer? Krümme die Finger in der Richtung des Stromes in der Stromschleife zur Faust und strecke den Daumen aus. Vergleiche die Richtung des ausgestreckten Daumens mit der Richtung, nach der der Nordpol der Nadel abgelenkt wird. *Erweiterte Regel der rechten Faust.* Wende den Strom in der Schleife. Gilt auch jetzt noch diese Regel? Öffne den Strom. In welcher Richtung treten die magnetischen Kraftlinien aus der Stromschleife? Als was darf man daher die Schleife auffassen? *Magnetische Scheibe.* Welche Seite bildet den Nordpol und welche den Südpol? Fig. 327 bietet eine Gedächtnishilfe; die punktierten Linien ergänzen die Pfeile der Stromrichtung zu den Buchstaben *S* und *N*.

q) Verschiebe die Bussole auf der Pappe längs der Achse der Drahtschleife. Ändert sich die Größe der Ablenkung?

r) Wiederhole den Versuch (p), doch drehe die Schleife so um ihre lotrechte Achse, daß ihre Ebene in die Ost-West-Richtung fällt. Wie wirkt nun der Strom auf die Bussolennadel in ihrer Mitte? Wende den Strom.

s) Nimm den Draht von dem Holzstab ab, schling ihn einmal dicht um die Bussole und laß den Strom so hindurchfließen, daß er in dem obern Drahtstück von Süden nach Norden fließt. Wie groß ist die Ablenkung?

t) Wiederhole den Versuch (s), doch gib der Schleife einen größern Durchmesser und lege die Bussole auf das eingeklemmte Pappstück. Ändert sich die Größe der Ablenkung?

u) Wickle den Draht zweimal, dann dreimal und schließlich viermal eng um die Bussole und bestimme jedesmal die Ablenkung der Nadel. Wächst die Größe der Ablenkung mit der Anzahl der Windungen?

v) Wickle den Draht mehrfach um die Bussole und bestimme die Richtung, nach der der Nordpol abgelenkt wird. In welcher Richtung fließt der Strom durch die Spule? Welches ist die Richtung der Kraftlinien? Gilt hier die erweiterte Regel der rechten Faust? Als was können wir die Stromspule auffassen? An welchem Ende liegt der Nordpol und an welchem der Südpol? *Solenoid.*

w) Schalte den Sammler aus, bringe die benutzten Geräte in Ordnung und gib sie ab.

Bemerkungen. Verwendet man einen Sammler, so muß man noch einen Widerstand in den Stromkreis einschalten. Man wähle die eingeschaltete Drahtlänge ausreichend groß, damit keine für den Widerstand und den Sammler gefährliche Stromstärke entsteht. Bei den Versuchen (n) und (o) gebraucht man starken Strom, man schalte deshalb hier den Widerstand ganz aus und schließe den Strom jedesmal nur für einen Augenblick. Bei nicht zuverlässigen Schülern ist es daher ratsam, statt des Stromwenders einen Stromschlüssel zu verwenden, der nur bei Druck den Strom schließt. Man schärfe den Schülern stets ein, daß sie bei allen galvanischen Versuchen nur dann und nur so lange den Strom einschalten dürfen, als es unbedingt notwendig ist.

Die Aufgaben 41 bis 43 wird man schon bei der Untersuchung der Stromquellen stellen. Vgl. Aufg. 10 S. 63, Aufg. 11 S. 65, Aufg. 27 S. 106, Aufg. 1 S. 303.

42. Aufgabe. *Wie ist das magnetische Kraftfeld einer Tangentenbussole beschaffen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Tangentenbussole (vgl. S. 344).	Leitungsschnüre.
	1 Sammler oder Daniell.	Meterstab.
	1 Zeichenbussole (vgl. S. 309).	Quecksilber.
	Stromwender (vgl. S. 335).	Zigarrenkistendeckel.
		Papier.
		Briefmarkenstreifen.

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole mit ihren Windungen senkrecht zu dem magnetischen Meridian, so daß also der Zeiger auf 90° einspielt, und entferne dann die Magnetnadel. Bilde aus dem Sammler, den 50 oder auch den 500 Windungen der Tangentenbussole und dem offnen Stromwender einen Stromkreis.

b) Lege auf den Deckel des Bussolengehäuses den Meterstab so, daß dessen Mitte über der Nadelspitze liegt und seine Richtung mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, also senkrecht zu den Windungen steht. Setze die Zeichenbussole ~ 20 cm südlich von der Spule auf den Stab, schließe den Strom und lies die Stellung der Nadel ab. Nimm an, das Blatt des Übungsheftes sei ein wagerechter Schnitt durch die Bussole in der Höhe des Gehäusedeckels, und stelle also die Spule durch die beiden Rechtecke *O* und *W* (Fig. 328) dar. Gib die Stellung der Nadel in der Zeichnung durch einen Pfeil wieder.

Fig. 328.

c) Bewege die Zeichenbussole in acht Stufen von je 5 cm nach Norden zu und trage jedesmal die Stellung der Nadel in das Übungsheft ein. Wird hier die erweiterte Regel der rechten Faust erfüllt? Nimm den Meterstab weg.

d) Halte die Zeichenbussole im Innern des Spulenringes in die Nähe des östlichen Teiles der Windungen. Markiere die Stellung der Nadel. Bewege die Bussole in der Richtung der Kraftlinie (vgl. S. 309) und markiere im Übungsheft für 3 oder 4 Stellen die Richtung der Bussolennadel. Wird hier die Regel der rechten Faust erfüllt?

e) Mache auch für den westlichen Teil der Spule die Beobachtungen und Zeichnungen.

f) Halte die Zeichenbussole dicht über die höchste Stelle der Spule, drehe die Bussole so, daß ihre Nadel um eine wagerechte von Ost nach West gerichtete Achse drehbar ist und bewege sie dann ähnlich wie beim Versuch (d) um die Spule. Gilt hier die Regel der rechten Faust?

g) Halte die Bussole wagerecht genau östlich von der Ostseite der Spule und dann genau westlich von der Westseite der Spule dicht neben die Windungen und untersuche die Stellung der Nadel.

h) Wende den Strom, der durch die Spule fließt, und wiederhole die Versuche (b) bis (g). Öffne den Strom.

i) Drehe bei geöffnetem Strom die Spule der Tangentenbussole in den magnetischen Meridian und lege auf das Gehäuse ein Holzbrettchen, auf dem ein Blatt Papier an den Ecken mit Briefmarkenstreifen festgeklebt worden ist. Nimm wie in Aufgabe 2 S. 308 das magnetische Kraftfeld auf. *Kraftfeld der Erde.*

k) Schließe den Strom und nimm von neuem das Kraftfeld auf. Vergleich es mit dem Kraftfeld des Versuches (i). Wie wirkt also die vom Strom durchfloßne Spule auf eine Magnetnadel in ihrem

Mittelpunkt ein? Öffne den Strom. *Kraftfeld der Erde. Kraftfeld der Spule Zusammengesetztes Feld.*

Bemerkungen. Hadley *(Pract. Exerc. 15 Nr. 16; 128 Nr. 87; 216 Nr. 4 und 225 Nr. 26)* empfiehlt, die Tangentenbussole aus dem Ablenkungsmagnetometer (vgl. S. 307) und einem Gestell mit Spule zusammenzusetzen. Ein solches nach meinen Angaben ausgeführtes Aggregat hat sich nicht bewährt, da das Zusammenfügen und Auseinandernehmen für beide Teile zu gefährlich ist. Zu dem Gestell mit Spule habe ich von Herrn Hintze aus Pappe und Holzleiste folgenden Klapptisch herstellen lassen, der für die Aufnahme der Kraftlinien einer Spule recht bequem

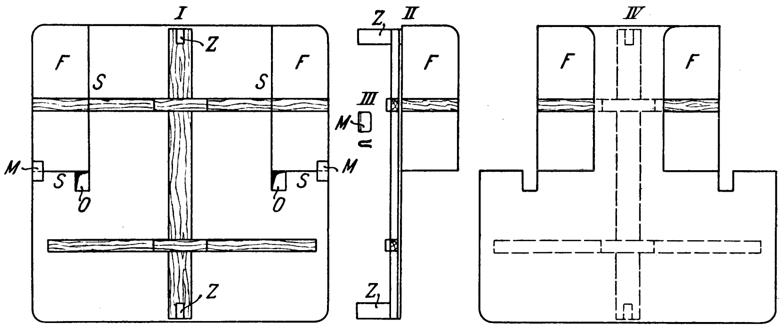

Fig. 329.

ist (Fig. 329). Die Holzzapfen Z, die auf der Unterseite sitzen, greifen in die Einschnitte der Gestellpfosten ein. Durch die Öffnungen O tritt die Spule durch den Tisch. Längs den Linien S ist die Pappe durchgeschnitten, die so entstandenen Flügel F sind mit Kalikostreifen an der übrigen Pappe befestigt. Mit Hilfe der Messingklemmen M kann man nach dem Aufsetzen des Tisches die Klappen feststellen.

Die kleinen Bussolen arbeiten in den Stellungen, die bei (*f*) verlangt werden, wenig befriedigend.

Vgl. Abraham *2, 335 Nr. 153* und Schreber-Springmann *2, 248 Nr. 210.*

Die Aufgabe 42 wird man schon bei der Untersuchung der Stromquellen stellen. Vgl. Aufg. 10 S. 63, Aufg. 11 S. 65, Aufg. 27 S. 106 u. Aufg. 1 S. 303.

43. Aufgabe. *Wie stellt man eine Tangentenbussole auf, und wie bestimmt man die wahre Ablenkung des Zeigers?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Tangentenbussole (vgl. S. 344). Sammler oder Trockenelement. Stabmagnet. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Stromwender (vgl. S. 335). Gleitwiderstand, 1 m Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser. Volkmannsche Klemme. Quecksilber für den Stromwender.

Anleitung. **a)** Stelle die Tangentenbussole an dem Ort auf, den der Lehrer angewiesen hat. Richte sie mit den Stellschrauben so aus, daß die Teilung wagerecht liegt.

b) Lege Messer, Schlüssel u. dgl. so weit weg, daß sie von jeder Bussole im Zimmer mindestens 1 m entfernt sind. Drehe die Bussole so, daß die Spule im magnetischen Meridian liegt, d. h. die eine Zeigerspitze auf Null steht. Halte dabei das Auge so, daß sich der Zeiger und das Zeigerbild im Spiegel decken und die am besten beleuchtete Kante der Zeigerspitze mit dem Nullstrich der Teilung zusammenfällt. Benutze bei allen folgenden Ablesungen desselben Versuches stets dieselben Kanten der Zeigerspitzen. Lies die Nullstellungen an beiden Zeigerspitzen ab und schreibe sie auf:

$$\text{Ostspitze } \alpha_0 = \ldots^0 \quad \text{Westspitze } \alpha_0' = \ldots^0$$

Beachte den Sinn der Drehung. Bezeichne dabei eine Drehung, die der Bewegung der Uhrzeiger entgegengesetzt ist, als positiv.

c) Klopfe mit der Spitze des Mittelfingers schwach auf den Deckel des Gehäuses und lies nochmals ab. Hat die Nadel ihre Ruhelage geändert? Welche von den beiden Ruhelagen ist die beßre? Was muß man vor jeder Ablesung des Zeigers machen?

d) Bring einen Pol eines Stabmagnets in die Nähe der Bussole und versetze so die Nadel in schwache Schwingungen. Entferne den Magnet, klopfe schwach gegen das Gehäuse und schreibe die Ruhelagen beider Nadelspitzen auf.

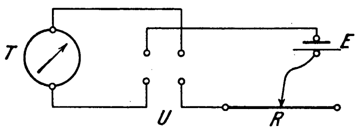

Fig. 330.

e) Verbinde das Element E (Fig. 330) und einen Widerstand R mit dem Stromwender U und diesen durch zwei Drähte, die umeinander gewickelt sind, mit den 50 Windungen der Tangentenbussole T. Die Bussole darf man beim Schalten nie aus ihrer Stellung bringen, und man muß alle übrigen Teile des Stromkreises möglichst weit davon entfernt aufstellen.

f) Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß die Ablenkung des Zeigers zwischen 30° und 60° liegt. Öffne den Strom.

g) Drehe die Bussole um einen kleinen Winkel aus ihrer richtigen Stellung heraus. Lies die Stellungen der Zeigerspitzen in der Ruhelage ab.

$$\text{Ostspitze } \alpha_0 = \ldots^0 \quad \text{Westspitze } \alpha'_0 = \ldots^0.$$

Schließe den Strom und lies die Stellungen der Zeigerspitzen ab.

$$\text{Ostspitze } \alpha_1 = \ldots^0 \quad \text{Westspitze } \alpha'_1 = \ldots^0.$$

Wie groß ist die Ablenkung jeder Zeigerspitze aus dem magnetischen Meridian?

$$\text{Ostspitze } \delta_1 = \ldots^0 \quad \text{Westspitze } \delta_1' = \ldots^0.$$

h) Wende den Strom und lies die Ablenkungen der Zeigerspitzen ab, beachte dabei den Sinn der Drehung.

Ostspitze $\alpha_2 = \ldots^0$ Westspitze $\alpha'_2 = \ldots^0$.

Öffne den Stromkreis. Vergleiche Größe und Sinn von α_1, α_1' und von α_2, α_2'. Wie groß ist die Ablenkung jeder Zeigerspitze aus dem magnetischen Meridian?

Ostspitze $\delta_2 = \ldots^0$ Westspitze $\delta_2' = \ldots^0$.

i) Nimm aus den absoluten Beträgen der Ablesungen α_1, α_1', α_2 und α_2' das Mittel und ebenso aus den vier Ablenkungen δ_1, δ_1', δ_2 und δ_2' der beiden Nadelspitzen aus dem Meridian. Vergleiche beide Mittelwerte miteinander. Wie muß man also verfahren, um den richtigen Ausschlag des Zeigers einer Tangentenbussole zu bestimmen?

k) Die Zeigerablesungen schreibt man zweckmäßig in folgender Form auf:

Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel	Ablenkung
	α_1	α_1'	$^1/_2\,(\alpha_1 + \alpha_1')$	$^1/_2\,[^1/_2\,(\alpha_1 + \alpha_1') +$
	α_2	α_2'	$^1/_2\,(\alpha_2 + \alpha_2')$	$^1/_2\,(\alpha_2 + \alpha_2')]$

Man berechnet zuerst das Mittel aus α_1 und α_1' und das Mittel aus α_2 und α_2'. Das Hauptmittel aus den beiden so erhaltenen Mitteln liefert die wahre Ablenkung der Bussolennadel.

l) Wie groß ist der Unterschied der Stellungen α_1 und α_2 der östlichen Nadelpitze? Nimm die Hälfte dieser Unterschiede. Vergleiche sie mit dem Wert von α_0. Wie muß man also, wenn man beobachtet hat, daß α_1 und α_2 verschieden sind, die Bussole drehen, damit die Ablenkungen α_1 und α_2 möglichst gleich werden?

m) Drehe die Bussole um den Winkel $^1/_2\,(\alpha_1 + \alpha_2)$ in dem richtigen Sinn. Schließe den Strom, lies den Ausschlag der östlichen Nadelspitze ab, wende den Strom und wiederhole die Ablesung. Vergleiche beide Ablesungen miteinander. Schließe den Strom, nimm die Bussolennadel von der Spitze und lege sie in das Gehäuse.

Bemerkungen. Ist die Übungsstätte mit feststehenden Arbeitstischen ausgestattet, so empfiehlt es sich, die Orte, wo die Tangentenbussolen aufzustellen sind, durch Messingnägel oder andere feste Marken dauernd zu bezeichnen. Die Bussole wird so aufgestellt, daß der Drehpunkt der Nadel über einer Marke liegt. Die Plätze für die Bussole wähle man so, daß in $\sim$ 1 m Umkreis kein Eisen vorhanden ist. Man bestimme selbst für e i n e Stelle des Übungsraums möglichst genau die Horizontalintensität des Erdmagnetismus und dann durch Vergleichung damit die Horizontalintensitäten für die übrigen Orte.

Man warne die Schüler, die Begriffe Magnetnadel und Zeiger zu verwechseln.

Die Aufgabe 43 wird man schon bei der Behandlung der Stromquellen stellen.

44. Aufgabe. *Wie hängt die Feldstärke eines geraden Stromleiters von der Stromstärke und dem Abstand von der Drahtachse ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Hall-Minor *95 Nr. 50.* Stewart-Gee *2, 314.* Abraham *2, 333 Nr. 152.* Schreber-Springmann *2, 247 Nr. 209.*

Geräte. Schwingungs-Magnetometer (vgl. S. 314).
Bussole mit Gradteilung.
Brett (vgl. S. 442).
Wasserwage.
Schraubzwinge.
Ringgewichtstück (1 kg*).
Bindfaden.
Flüssigkeitswiderstand.
3 bis 4 Sammler.
Strommesser (bis 10 A und mehr), wenn möglich ein Erhitzungs-Strommesser.
Stromwender.
Stechuhr.
Schublehre.
Maßstab.
Millimeterpapier.
Leitungsschnüre von 2 mm Durchmesser.

I. Schwingungsverfahren.

Anleitung. a) Spann oberhalb des Arbeitstisches in mindestens 75 cm Höhe über der Platte und in der Richtung von Nord nach Süd einen starken Bindfaden aus (Fig. 331). Befestige daran über dem nördlichen oder südlichen Tischrand einen mindestens 1,50 m langen Kupferdraht von 1 mm Durchmesser, ziehe ihn durch das Loch des Brettchens und belaste ihn unten mit einem Gewichtstück (1 kg*). Richte das Brettchen wagerecht so aus, daß der Draht genau durch seine Mitte frei hindurchführt und die eine Mittellinie genau von Norden nach Süden läuft, und klemme

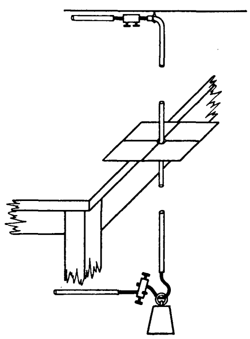

Fig. 331.

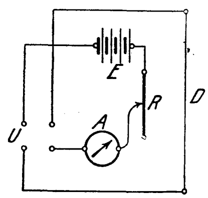

Fig. 332.

es dann mit einer Schraubzwinge fest. Stelle am gegenüberliegenden Tischrand in $\sim$ 3 m Entfernung vom lotrechten Draht eine Sammlerbatterie E (Fig. 332) auf, der man $\sim$ 10 A entnehmen kann, schalte diese mit einem Flüssigkeitswiderstand R, einem Stromzeiger A, einem Stromwender U und dem lotrechten Draht D in Reihe. Halte dabei die Leitungsschnüre möglichst fern von dem lotrechten Draht, führe daher die obre den Bindfaden und die untre den Boden entlang.

b) Stelle auf dem Brettchen das Magnetometer östlich vom Draht so auf, daß das Lot von der Mitte des Magnets auf die Drahtachse lotrecht auf dem magnetischen Meridian steht und die Mitte des Magnets von der Achse des Drahtes genau um $r = 6$ cm entfernt ist. Schließe, sobald der Magnet zur Ruhe gekommen ist, den Strom. Wird der Magnet nicht abgelenkt, so ist die Aufstellung richtig. Findet eine Ablenkung statt, so muß man das Magnetometer ein wenig im Meridian verschieben. Setze, sobald die richtige Aufstellung des Magnetometers erzielt ist, bei geöffnetem Strom den Magnet in kleine Schwingungen und bestimme die Schwingungszahl n_0.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Anzahl der Schwingungen z_0	Schwingungszeit t_0 min sek	Schwingungszeit t_0 sek	Schwingungszahl $n_0 = z_0/t_0$

Mittel $n_0 = \ldots$

d) Schließe den Strom, lies die Stromstärke ab und bestimme wiederum die Schwingungszahl. Halte dabei sorgfältig mit dem Widerstand die Stromstärke auf derselben Höhe. *Stromfeld. Erdfeld.* Bestimme mit der Regel der rechten Faust, ob an der Stelle, wo das Magnetometer steht, beide Felder gleiche oder entgegengesetzte Richtungen haben. Wende den Strom und wiederhole den Versuch.

e) Vermindre die Stromstärke und wiederhole die Messungen (d). Untersuche, ob sich nicht bei einer gewissen Stromstärke die Magnetnadel umkehrt.

f) Stelle das Magnetometer genau 6 cm westlich vom Draht auf und wiederhole die Messungen (d) und (e).

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf, deute dabei die Stromrichtungen durch Pfeile, $\uparrow$ oder $\downarrow$, und die Stellung des Magnets durch w oder o an.

Magnetometer Nr. . . . $n_0^2 = \ldots$ $r = \ldots$ [cm]. $H = \ldots$ [Gauß].

Stromstärke J A	Stromrichtung	Feldrichtung	Stellung des Magnetometers	Schwingungszeit t min sek	Schwingungszeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert n	$n^2 - n_0^2$	$n^2 - n_0^2$ Mittel	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{H}/J$	$r\mathfrak{H}/J$

h) Hat der Magnet das Trägheitsmoment K und die Richtkraft D, so ist die Schwingungsdauer im Erdfeld $\tau_0 = 2\pi\sqrt{K/D}$. Bezeichnet M das Moment des Magnets und H die Horizontalkomponente, so ist $D = MH$, daher $MH = 4\pi^2 K/\tau_0{}^2 = 4\pi^2 n_0{}^2 K$, wo n_0 die Schwingungszahl im Erdfeld bedeutet. Es ist mithin $n_0{}^2 = cH$, wo c die Konstante $M/4\pi^2 K$ bezeichnet. Erregt der Strom $\pm J$, der den Draht umfließt, an einer Stelle, die senkrecht zum magnetischen Meridian von der Drahtachse den lotrechten Abstand r hat, die Feldstärke $\pm \mathfrak{H}$, so ist die Gesamtstärke der übereinander gelagerten Felder der Erde und des Stromes $H \pm \mathfrak{H}$ und daher, wenn n die Schwingungszahl des Magnets an dieser Feldstelle bezeichnet, $n^2 = c(H \pm \mathfrak{H})$ oder $\pm c\mathfrak{H} = n^2 - n_0{}^2$, mithin

$$\pm \mathfrak{H} = \frac{n^2 - n_0{}^2}{n_0{}^2} H.$$

i) Wie ändert sich also $n^2 - n_0{}^2$ mit der Feldstärke $\mathfrak{H}$ des Stromes? Berechne $n^2 - n_0{}^2$ und bilde aus den Werten, die der gleichen Stromstärke entsprechen, das Mittel. Vergleiche die Werte von J und $n^2 - n_0{}^2$. Welche Beziehung besteht zwischen $\mathfrak{H}$ und J? Berechne die Werte von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}/J$.

k) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle dabei J als Abszisse und $n^2 - n_0{}^2$ oder $\mathfrak{H}$ als Ordinate.

l) Stelle das Magnetometer so auf, daß der Abstand $r = 9$ cm wird und wiederhole den Versuch (d) unter Anwendung genau der gleichen Stromstärke und mit Wechseln der Stromrichtung.

m) Stelle die Ergebnisse der Versuche (d) und (l) auf folgende Weise zusammen:

$J = \ldots$ [A]. $H = \ldots$ [Gauß].

r cm	Strom-richtung	Feld-richtung	Stellung des Magneto-meters	Schwingungs-zeit t min sek	Schwingungs-zeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungs-zahl $n = z/t$	Mittel-wert n	$n^2 - n_0{}^2$	$n^2 - n_0{}^2$ Mittel	$\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}/J$

n) Berechne aus den Schwingungszahlen, die gleichen Abständen r entsprechen, $n^2 - n_0{}^2$ und bilde den Mittelwert. Vergleiche die Werte von r und $n^2 - n_0{}^2$. Welche Beziehung besteht zwischen $\mathfrak{H}$ und r? Berechne die Werte von $\mathfrak{H}$ und $r\mathfrak{H}$.

o) Stelle die Ergebnisse der Versuche (d) und (l) graphisch dar, wähle dabei $1/r$ als Abszisse und $n^2 - n_0{}^2$ oder $\mathfrak{H}$ als Ordinate.

p) In welche Gleichung kann man die Ergebnisse von (g) und (m) zusammenfassen? $\mathfrak{H} = \eta J/r$. Berechne aus diesen Ergebnissen $r\mathfrak{H}/J$ und daraus den Mittelwert von η. *Gesetz von* Biot *und* Savart.

q) Verschiebe bei ungeänderter Stärke und Richtung des Stromes eine Bussole auf der Ost-Westlinie des Drahtes und suche die Stelle, wo sich die Nadel umkehrt, also sich das Erdfeld und das Stromfeld gegenseitig aufheben.

II. Ablenkungsverfahren.

Anleitung. r) Stelle genau auf dem magnetischen Meridian, der durch die Achse des Drahtes geht, eine Bussole so auf, daß die Ablenkung der Nadel genau 45^0 beträgt. Miß den Abstand der Drahtachse von der Mitte der Nadel und lies die Stromstärke ab. Wende den Strom; verrücke die Bussole auf dem magnetischen Meridian, bis die Ablenkung der Nadel wieder genau 45^0 ist. Regle, wenn nötig, den Widerstand so, daß sich die Stromstärke während des Versuches nicht ändert. Vergiß nicht, vor dem Ablesen an die Bussole zu klopfen.

s) Bringe die Bussole auf die entgegengesetzte Seite des Drahtes und wiederhole die Versuche (r).

t) Die Magnetnadel habe die Länge $\mathfrak{l}$ und die Polstärke $\mathfrak{m}$, also das Moment $M = \mathfrak{m}\mathfrak{l}$. Im Mittelpunkt der Bussole sei die Horizontalkomponente H und die Stärke des Stromfeldes $\mathfrak{H}$. Wie groß sind die beiden Drehmomente, die auf den Magnet wirken? Es ist $\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$, wo α die Ablenkung der Nadel bezeichnet. Nach den Versuchen (b) bis (q) ist $\mathfrak{H} = \eta J/r$, wo η eine Konstante bedeutet. Berechne aus den Messungen von (r) und (s) den Wert von η und vergleiche seinen Mittelwert mit dem in (p) gefundenen Mittelwert.

u) Spanne nun den Draht, der seither lotrecht herabhing, in der Höhe der Magnetometernadel wagerecht aus und stelle das Magnetometer neben den Draht. Schicke verschieden starke Ströme durch den Draht und bestimme jedesmal die Schwingungszahl. Ändert sich die Schwingungszahl mit der Stromstärke?

Bemerkungen. Auf dem Brett (30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 2 cm) sind die beiden Mittellinien gezogen und längs dieser Striche zwei Streifen Millimeterpapier geklebt. Durch die Mitte des Brettes ist ein 0,5 bis 1 cm weites Loch gebohrt.

Statt des Flüssigkeitswiderstandes kann man einen andern Stromschwächer (bis $\sim$ 5 Ohm) verwenden, der eine dauernde Belastung mit 10 A verträgt. Man kann den Strom auch durch Ausschaltung von Sammlern schwächen.

Bussolen haben für die Schwingungsversuche eine zu starke Dämpfung.

Bei Schülerübungen ist es wohl kaum ratsam, durch einen Hilfsmagnet, der in der Nähe des Magnetometers aufgestellt ist, die Wirkung des Erdfeldes auszugleichen.

Man kann die Fragen, die durch das Schwingungsverfahren gelöst wurden, auch nach dem Ablenkungsverfahren beantworten lassen, doch dürfte es sich dabei empfehlen, statt der Bussole ein Spiegelmagnetometer zu verwenden und die Ablenkungswinkel mit Spiegel und Skala genau zu messen.

Man halte die Schüler an, daß sie bei den zusammengehörigen Messungen stets sorgfältig die Stromstärke auf der gleichen Höhe halten und sofort am Ende jeder Messung den Strom öffnen.

Man lasse einen Teil der Gruppen die Versuche (l) bis (q) und (u) und den andern Teil zu gleicher Zeit die Versuche (r) und (s) ausführen.

45. Aufgabe. *Wie hängt die Feldstärke in der Mitte einer Stromschleife vom Halbmesser und von der Stromstärke ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Stewart-Gee *2, 324.* F. C. G. Müller, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 8, 34; 1894.* Abraham *2, 335 Nr. 153.* Schreber-Springmann *2, 248 Nr. 210.*

Geräte. Stromschleife (vgl. S. 448). Bussole mit Gradteilung. 2 Sammler. Stromwender. Strommesser. Flüssigkeitswiderstand. Stromschwächer (1 m Manganindraht von 0,5 mm Durchmesser. Volkmannsche Klemme. Leitungsschnüre für Tangentenbussole. Leitungsschnüre. Stechuhr.

Anleitung. a) Stelle aus 2 Sammlern *E* (Fig. 333), dem Stromschwächer *R*, dem Strommesser *A*, dem Wender *U* und der Stromschleife *S* (Fig. 334) einen Stromkreis her. Verbinde dabei die Schleife durch zusammengedrehte Leitungsschnüre, wie man sie bei der Tangentenbussole verwendet,

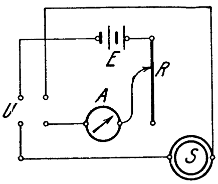

Fig. 333.

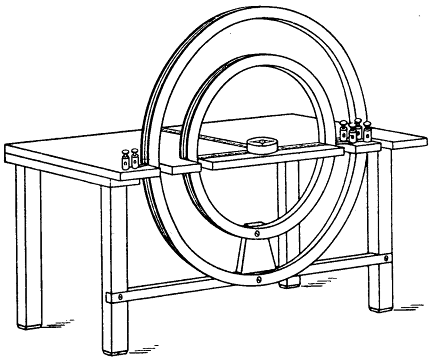

Fig. 334.

mit dem Stromwender und stelle die Schleife möglichst weit von den übrigen Geräten auf.

I. Schwingungsverfahren.

b) Stelle die Stromschleife so auf, daß die Windungen senkrecht zum magnetischen Meridian stehen. Setz in die Mitte der Schleife die Bussole, bring ihre Nadel zum Schwingen und bestimm ihre Schwingungszahl n_0. Schreibe die Ergebnisse wie in Aufgabe 44 (b) auf.

c) Schalte die einfache Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis, schließe den Strom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke 2 A wird, und halte sie während des Versuchs stets genau auf der gleichen Höhe. Stelle die Stromrichtung und mit der erweiterten Regel der rechten Faust die Richtung des Stromfeldes fest. Bestimme die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole die Messung. Öffne den Strom.

d) Schalte die Windung ein, deren Halbmesser 15 cm ist, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke wieder genau 2 A wird, halte sie dauernd auf dieser Höhe, bestimme die Richtungen des Stromes und des Stromfeldes und die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole den Versuch. Unterbrich den Strom.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf, unterscheide dabei die Stromrichtungen als Zeigerstrom (Z) und Gegenzeigerstrom (G).

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussole Nr. . . . Stromstärke $J = \ldots$ [A]. $n_o{}^2 = \ldots$ $H = \ldots$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Halbmesser der Schleife r cm	Schwingungszeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von n	$n^2 - n_o{}^2$	Mittelwert von $n^2 - n_o{}^2$	$r\,(n^2 - n_o{}^2)$	$\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}/J$

f) Nach Aufgabe 44 (h) ist $\pm c\mathfrak{H} = n^2 - n_0{}^2$ und $\mathfrak{H} = \pm \frac{n^2 - n_0{}^2}{n_0{}^2} H$, also $n^2 - n_0{}^2$ der Feldstärke $\mathfrak{H}$ der Stromschleife proportional. Welche Beziehung besteht zwischen $n^2 - n_0{}^2$ und r und demnach zwischen $\mathfrak{H}$ und r?

g) Schalte die einfache Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis ein und regle den Widerstand so, daß ein Strom von 1,5 A durch den Draht fließt, und halte diese Stärke dauernd aufrecht. Stelle die Richtungen des Stromes und des Stromfeldes fest und bestimme die Schwingungszahl. Wende den Strom und wiederhole den Versuch. Unterbrich den Strom.

h) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (c) in folgender Weise zusammen:

$r = \ldots$ [cm]. $n_o = \ldots$ $H = \ldots$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Stromstärke J A	Schwingungszeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von n	$n^2 - n_0^2$	Mittelwert von $n^2 - n_0^2$	$\frac{n^2 - n_0^2}{J}$	$\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}/J$

i) Welche Beziehung besteht zwischen $n^2 - n_0^2$ und J, also zwischen $\mathfrak{H}$ und J? Wie kann man dieses Ergebnis und das von (e) zusammenfassen?

k) Schalte die einzelne Windung und die drei Windungen, deren Halbmesser 10 cm ist, hintereinander, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 2 A hindurchfließt, und halte diese Stärke während des Versuchs stets aufrecht. Bestimme die Richtungen des Stromes und des Stromfeldes und die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole den Versuch.

l) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (c) in folgender Weise zusammen:

$r = \ldots$ [cm]. $n_0 = \ldots$ $J = \ldots$ [A]. $H =$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Anzahl der Windungen N	Schwingungszeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von n	$n^2 - n_0^2$	Mittelwert von $n^2 - n_0^2$	$(n^2 - n_0^2)/N$	$\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}/NJ$

m) Welche Beziehung besteht zwischen der Feldstärke $\mathfrak{H}$ und der Anzahl N der Windungen? Fasse die Ergebnisse von (e), (h) und (l) zusammen.

n) Schicke einen Strom von 2 A durch die drei Windungen und in entgegengesetzter Richtung durch die vierte Windung der Spule von 10 cm Halbmesser. Bestimme die Schwingungszahl. Wende den Strom und wiederhole die Messung. Von welchen Windungen heben sich die Felder gegenseitig auf. Wieviel Windungen könnten das entstandene Feld auch erzeugen?

o) Trage diese Ergebnisse in die Tafel von (l) ein.

II. Ablenkungsverfahren.

Anleitung. p) Stelle die Stromschleife so auf, daß die Windungen im magnetischen Meridian liegen. Schalte die einzelne Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis, schließe den Strom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke 2 A wird, und halte sie während des ganzen Versuchs genau auf dieser Höhe. Bestimme die Richtungen des Stromes und seines Feldes. Lies die Stellungen der beiden Nadelspitzen ab, wende den Strom und wiederhole die Ablesungen. Unterbrich den Strom.

q) Schalte nun die Stromschleife, deren Halbmesser 15 cm ist, ein, regle den Widerstand so, daß der Strom wieder genau 2 A stark wird, und halt ihn dauernd auf diesem Stand. Bestimme die Richtungen des Stromes und seines Kraftfeldes. Ermittel unter Wenden des Stromes aus den vier Stellungen der Nadelspitzen die Ablenkung der Bussolennadel. Öffne den Strom.

r) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:
Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussole Nr. . . . Stromstärke $J = \ldots$ [A]. $H = \ldots$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Halbmesser der Stromschleife r cm	Nadelablesungen			Ablenkung α	tg α	$\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$	$r\mathfrak{H}$	$r\mathfrak{H}/J$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

s) Vergleiche die Werte von r und die von tg α miteinander. Nach Aufgabe 44 (t) ist, wenn H die Horizontalkomponente bezeichnet, die Feldstärke $\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$. Welche Beziehung besteht zwischen $\mathfrak{H}$ und r?

t) Schalte die einzelne Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, ein, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 1,5 A durch die Drahtschleife fließt, und halte während des ganzen Versuches den Strom sorgfältig auf dieser Stärke. Bestimm unter Wenden des Stromes aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Nadel. Öffne den Strom.

u) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (p) in folgender Weise zusammen:
$r = \ldots$ [cm]. $H = \ldots$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Stromstärke J A	Nadelablesungen			Ablenkung α	tg α	$\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$	$\mathfrak{H}/J$	$r\mathfrak{H}/J$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

v) Vergleiche die Stromstärken J mit den Werten von tg α. Welche Beziehung besteht zwischen $\mathfrak{H}$ und J? Wie kann man diese Ergebnisse und die von (s) zusammenfassen? Berechne aus den Messungsergebnissen, die in (r) und (u) zusammengestellt sind, die Werte von $r\mathfrak{H}/J$. Welcher Zahl sind die Fünffachen dieser Größen gleich? Welche Funktion ist also $\mathfrak{H}$ von J und r?

w) Schalte die einzelne Windung und die drei Windungen vom Halbmesser 10 cm hintereinander, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 2 A hindurchfließt, und halte während des ganzen Versuchs sorgfältig diese Stromstärke aufrecht. Bestimme die Richtungen des Stromes und seines Kraftfeldes und unter Wenden des Stromes aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Bussolennadel.

x) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (p) auf folgende Weise zusammen:

$r = \ldots$ [cm]. $J = \ldots$ [A]. $H = \ldots$ [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Anzahl der Windungen N	Nadelablesungen			Ablenkung α	$\operatorname{tg}\alpha$	$\mathfrak{H} = H \operatorname{tg}\alpha$	$\mathfrak{H}/N$	$\frac{r\mathfrak{H}}{NJ}$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

y) Vergleiche die Werte von N und von $\operatorname{tg}\alpha$ miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen $\mathfrak{H}$ und N? Wem sind die Werte von $5\,r\mathfrak{H}/NJ$ angenähert gleich? Drücke $\mathfrak{H}$ durch die Größen N, J und r aus. Welche Gleichung besteht zwischen H, α, N, J und r? Berechne daraus J. *Tangentenbussole. Reduktionsfaktor* C. Welcher Teil dieses Reduktionsfaktors hängt nicht von der Tangentenbussole, sondern von dem Ort ab, wo sich diese befindet? Es ist

$$J = 5\,\frac{rH}{N\pi}\operatorname{tg}\alpha = 10\,\frac{r^2 H}{N\cdot 2\pi r}\operatorname{tg}\alpha.$$

Welche Größe wird durch $N\cdot 2\pi r$ dargestellt? Es läßt sich H in cm, gr und sek, also auch J in absolutem Maß messen. Da

$$\mathfrak{H} = H\operatorname{tg}\alpha = \frac{N\cdot 2\pi r\cdot J}{10 r^2},$$

so ist die Kraft F, mit der der Strom von der Länge $l = N\cdot 2\pi r$ aus der Entfernung r auf den Magnetpol von der Stärke $\mathfrak{m}$ wirkt, $F = \mathfrak{m}\mathfrak{H} = \mathfrak{m}lJ/10r^2$, mithin $J = 10r^2F/\mathfrak{m}l$. Dann hat ein Strom, dessen Länge 1 cm ist, und der aus der Entfernung 1 cm auf den Magnetpol von der Stärke 1 *CGS* mit der Kraft 1 Dyne wirkt, die Stärke

$$J = 10\text{ A}.$$

Diese Stromstärke, das Weber, ist die elektromagnetische Einheit der Stromstärke.

z) Schick einen Strom von 2 A durch die drei Windungen von 10 cm Halbmesser und in entgegengesetzter Richtung durch die vierte Windung derselben Spule. Bestimme unter Wenden des Stromes die Ablenkung der Nadel. Von welchen Windungen heben sich die

Felder gegenseitig auf? Wieviel Windungen könnten das entstandene Feld auch erzeugen?

Trage die Ergebnisse dieser Messungen in die Tafel von (x) ein.

Bemerkungen. Man sorge dafür, daß die Schüler die Stromstärken sorgfältig konstant halten und sofort nach Beendigung jeder Messung den Strom unterbrechen.

Die Stromschleife (Fig. 334). Die Platte des Schemels, deren Oberseite ~ 20 cm über dem Tisch liegt, ist ~ 40 cm lang und 20 cm breit und ragt ~ 3 cm über das Untergestell hinaus. In den einen Längsrand der Platte sind vier ~ 3 cm tiefe Einschnitte gemacht und darin zwei Holzreifen lotrecht so eingesetzt, daß deren gemeinsamer Mittelpunkt so hoch über der Oberseite der Platte liegt, daß die Mitte einer Bussole, die auf der Platte steht, genau mit jenem Mittelpunkt zusammenfällt. Auf den kleinern Reifen ist eine Windung aus isoliertem Kupferdraht von 1 mm Durchmesser so gelegt, daß die Drahtachse einen Kreis von 20 cm Durchmesser bildet. Unter dem Mittelpunkt des Drahtachsenkreises liegt der Anfangspunkt der beiden Millimeterskalen. Die eine Skala liegt längs dem Durchmesser, ihre Teilung beginnt beim Mittelpunkt und zählt nach beiden Seiten, die andre Teilung liegt in der Achse der Schleife und beginnt auch beim Mittelpunkt. Die freien Enden der Schleife laufen parallel nach zwei Klemmen, bei denen die Markierung: $A \cdot 20\,\mathrm{cm} \cdot 1\,\mathrm{mm}$ steht. Auf den Reifen sind noch weitre drei Windungen desselben Drahtes dicht nebeneinander gelegt. Die freien Enden der Spulen führen parallel zu zwei Klemmen, bei denen die Markierung: $B \cdot 20\,\mathrm{cm} \cdot 1\,\mathrm{mm}$ steht. Auf dem größern Reifen liegt eine Windung derselben Drahtsorte so, daß die Drahtachse einen Kreis von 30 cm Durchmesser bildet und dessen Mittelpunkt mit dem der andern Schleife zusammenfällt. Die freien Enden dieses Drahtes laufen zu zwei Klemmen mit der Markierung: $C \cdot 30\,\mathrm{cm} \cdot 1\,\mathrm{mm}$. Für manche Versuche ist es zweckmäßig, die obern und untern Hälften der Drahtschleifen verschieden zu färben. Die Füße des Schemels sind mit Spitzen versehen.

Das Ablenkungsverfahren ist dem Schwingungsverfahren vorzuziehen.

Man lasse gleichzeitig einige Gruppen die Versuche (a) bis (o), andre Gruppen die Versuche (a) und (p) bis (z) ausführen und weitre Gruppen die Aufgabe 46 erledigen.

46. Aufgabe. *Wie ändert sich die Feldstärke einer Stromschleife auf dem wagerechten Durchmesser und auf der Achse der Schleife?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 45, dazu Millimeterpapier, Maßstab und Schublehre.

I. Schwingungsverfahren.

Anleitung. a) Verfahre wie bei Aufgabe 45 (a) bis (c); schalte dabei die einzelne Windung von 10 cm Halbmesser in den Stromkreis.

b) Verschiebe die Mitte der Bussole auf dem ostwestlichen Durchmesser der Stromschleife bis zu dem östlichen Innenrand, miß den Abstand a der Bussolenmitte von der Mitte der Stromschleife und bestimme die Schwingungszahl. Verschiebe nun die Mitte der Bussole auf dem Durchmesser der Schleife bis zu dem westlichen Innenrand, miß den Abstand der Bussolenmitte von der Schleifenmitte und bestimme die Schwingungszahl. Halte bei diesen Versuchen, wenn nötig, durch Änderung des Widerstandes die Stromstärke stets auf der gleichen Höhe.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussole Nr. . . . $r =$ . . . [cm]. Stromstärke $J =$ . . . [A] $=$ . . . [Weber]. $n_o^2 =$ . . . $H =$ . . . [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Abstand a cm	Schwingungs-zeit t sek	Anzahl der Schwingungen z

Schwingungs-zahl $n = z/t$	Mittelwert von n	$n^2 - n_o^2$	Mittelwert von $n^2 - n_o^2$	$\mathfrak{H}$

d) Nach Aufgabe 44 (h) ist $\pm\mathfrak{H} = (n^2 - n_o^2)\,H/n_o^2$. An welcher Stelle des westöstlichen Schleifendurchmessers hat $n^2 - n_o^2$ und mithin $\mathfrak{H}$ einen kleinsten Wert?

e) Miß den Halbmesser r der Stromschleife. Verschiebe die Mitte der Bussole auf der im magnetischen Meridian liegenden Achse der Stromschleife jedesmal um ein Zentimeter bis zum Abstand 6 cm und bestimme für jede Stellung in der üblichen Weise die Schwingungszahl.

f) Stelle die Ergebnisse dieser Messungen und die von (a) in folgender Weise zusammen, bezeichne dabei den Abstand der Bussolenmitte von der Schleifenmitte mit d.

$n_o^2 =$ . . . $J =$ . . . [A] $=$ . . . [Weber].
$r =$ . . . [cm.] $H =$ . . . [Gauß].

Strom-richtung	Feld-richtung	Ab-stand d cm	Schwingungs-zeit t sek	Anzahl der Schwingungen z	Schwingungs-zahl $n = z/t$	Mittel-wert von n

$n^2 - n_o^2$	Mittel-wert von $n^2 - n_o^2$	$\mathfrak{H} = \dfrac{n^2 - n_o^2}{n_o^2} H$	$\mathfrak{H} = \dfrac{2\pi r^2 J}{(r^2 + d^2)^{3/2}}$	$\dfrac{1}{(r^2 + d^2)^{3/2}\,(n^2 - n_o^2)}$

g) Es ist $\pm\mathfrak{H} = (n^2 - n_0^2)\, H/n_0^2$, ferner, wie sich durch Rechnung ableiten läßt,

$$\mathfrak{H} = \frac{2\pi r^2 J}{(r^2 + d^2)^{3/2}},$$

wo J in Weber gemessen ist. Es muß also $1/(r^2 + d^2)^{3/2}\,(n^2 - n_0^2)$ einen konstanten Wert haben. Ergeben dies die Messungen? An welcher Stelle der Schleifenachse ist das Feld am stärksten?

h) Stelle die Ergebnisse graphisch dar und wähle dabei als Abszisse d und als Ordinate $\mathfrak{H} = (n^2 - n_0^2)\, H/n_0^2$. Stelle ebenso $\mathfrak{H} = 2\pi r^2 J/(r^2 + d^2)^{3/2}$ als Kurve dar, und setze dabei $x = d$ und $y = \mathfrak{H}$. Vergleiche beide Kurven miteinander.

II. Ablenkungsverfahren.

Anleitung. i) Verfahre wie bei Aufgabe 45 (a) und (p).

k) Verschiebe die Mitte der Bussole auf dem nordsüdlichen Durchmesser der Stromschleife bis zum südlichen Innenrand, miß den Abstand a der Bussolenmitte von der Schleifenmitte und bestimme wie in Aufgabe 45 (p) die Ablenkung der Nadel. Verschiebe die Bussole nach dem nördlichen Innenrand und verfahre ebenso.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . .
Bussole Nr. . . .
Stromstärke $J = \ldots$ [A] $= \ldots$ [Weber].
$H = \ldots$ [Gauß].
$r = \ldots$ [cm].

Strom-richtung	Feld-richtung	Abstand a cm	Nadelablesungen			Ab-lenkung α	tg α	$\mathfrak{H}$
			Ost-spitze	West-spitze	Mittel			

m) Es ist die Feldstärke $\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$, wo H die Horizontalkomponente bezeichnet. An welcher Stelle des Schleifendurchmessers hat $\operatorname{tg} \alpha$ und mithin $\mathfrak{H}$ seinen kleinsten Wert?

n) Miß den Halbmesser r der Stromschleife. Verschiebe nun die Mitte der Bussole auf der Achse der Stromschleife jedesmal um ein Zentimeter bis zum Abstand 6 cm und bestimme für jede Lage unter Wenden der Stromrichtung aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Magnetnadel.

o) Stelle die Ergebnisse dieser Messungen und die von (i) in folgender Weise zusammen und bezeichne dabei den Abstand der Bussolenmitte von der Schleifenmitte mit d.

$J = \ldots$ [A] $= \ldots$ [Weber]. $r = \ldots$ [cm]. $H = \ldots$ [Gauß].

Strom-richtuug	Feld-richtung	Abstand d cm	Nadelablesungen			Ab-lenkung α	tg α
			Ost-spitze	West-spitze	Mittel		

$\mathfrak{H}$	$\frac{1}{(r^2+d^2)^{3/2}\operatorname{tg}\alpha}$	$\mathfrak{H} = \frac{2\pi r^2 J}{(r^2+d^2)^{3/2}}$

p) Es ist $\mathfrak{H} = H \operatorname{tg} \alpha$ und ferner $\mathfrak{H} = 2\pi r^2 J/(r^2+d^2)^{3/2}$, wo J in Weber gemessen ist. Es muß also $1:(r^2+d^2)^{3/2} \operatorname{tg} \alpha$ eine konstante Größe sein. Ergeben dies die Messungen? An welcher Stelle der Achse ist das Feld der Stromschleife am stärksten?

q) Stelle die Ergebnisse graphisch dar. Setze das eine Mal

$$x = d \qquad y = H \operatorname{tg} \alpha$$

und das andre Mal

$$x = d \qquad y = 2\pi r^2 J/(r^2+d^2)^{3/2}.$$

Bemerkungen. Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Aufgaben 45 und 46 gleichzeitig erledigen und bei Aufgabe 46 einige Gruppen nach dem Schwingungsverfahren und andre Gruppen nach dem Ablenkungsverfahren arbeiten,

Man halte darauf, daß die Schüler stets die Stromstärke sorgfältig auf der gleichen Höhe erhalten, und daß sie am Schluß jeder Messung den Strom unterbrechen.

47. Aufgabe. *Untersuche das magnetische Feld einer Drahtspule. Welche Wirkung hat die Einführung eines Eisenkerns in die Spule?*

(1 Schüler, $^1/_2$ Stunde.)

Geräte. Glasröhre, 15 cm lang und 2,5 cm weit. 3 m isolierten Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser. Trockenkette. Stromschlüssel oder Druckknopf. Stromwender. Mehrere weiche Weißblechstreifen oder Eisendrähte, so lang wie die Glasröhre. Nichtmagnetisierte Uhrfederstücke oder Stricknadeln. Verbindungsschnüre. Klebpapier. Bindfaden. Schere. Isolierband.

Anleitung. a) Wickle den Kupferdraht um die Glasröhre, befestige die Endwindungen mit Schleifen aus Bindfaden oder weniger empfehlenswert mit Isolierband und biege die Enden nach der Mitte der Spule zurück. Markiere das eine Ende der Spule durch ein aufgeklebtes Stückchen Papier. Verbinde die freien Drahtenden der Spule S (Fig. 335) mit den beiden Gegenklemmen des geschlossenen Stromwenders U_1, doch schalte dabei in die Leitung den Stromschlüssel U_2 und einen Stromschwächer ein. Verbinde die beiden andern Klemmen des Wenders U_1 mit den Polen der Kette E. Drücke den Stromschlüssel nieder und schließe den Strom. Halte die Spule von Osten nach Westen und nähere das markierte Ende der Spule der Bussolennadel. Wie wirkt es auf den Nordpol und wie auf den Südpol der Nadel? Wiederhole die Versuche mit dem andern Ende der Spule. Wo liegen also gleichsam der Nordpol und der Südpol der Spule? Lege die rechte Hand so um die Spule, daß die Finger die Richtung des Stromes anzeigen. Nach welchem Pol der Spule weist der ausgestreckte Daumen? *Erweiterte Regel der rechten Faust.* Öffne den Strom und prüfe, ob sich die Spule noch wie ein Magnet verhält.

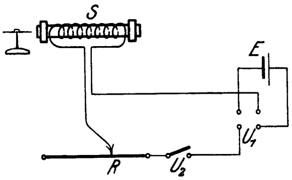

Fig. 335.

b) Kehre mit dem Stromwender die Richtung des Stromes in der Spule um und prüfe wiederum die beiden Enden der Spule mit der Bussole. Welches Ende ist nun der Nordpol? Gilt auch jetzt noch die erweiterte Regel der rechten Faust? Mach eine Skizze der Spule und gib darin die Stromrichtung und die Richtung der Kraftlinien an.

c) Wickle den Draht von der Glasröhre ab und dann in entgegengesetztem Sinn wieder auf. Wiederhole die Versuche (a) und (b).

d) Prüfe mit der Bussole, ob die Stäbe aus weichem Eisen magnetisiert sind. Halte sie, falls sie magnetisiert sind, in die Ost-Westrichtung und schlage sie kräftig auf den Tisch. Schließe den Strom und stelle die Bussole so weit von der Spule entfernt auf, daß die Ablenkung $\sim 45^0$ wird. Schiebe die nicht magnetisierten oder entmagnetisierten Stäbe der Reihe nach einzeln in die Glasröhre und untersuche die Einwirkung der Spule auf die Bussole. Wird die magnetische Kraft der Spule verstärkt oder geschwächt? Wird nach dem Öffnen des Stromes die Nadel noch abgelenkt? Ziehe die Eisenstäbe aus der Spule und schiebe sie, ohne dabei die Stromrichtung zu ändern, umgekehrt in die Spule hinein. Werden hierdurch die Pole umgekehrt?

e) Nimm die Eisenstäbe aus der Spule und prüfe, ob sie magnetisiert sind. Was für Pole bilden die Stabenden, die beim Nordpol der Spule lagen, und was für Pole die andern Enden? Sind die Stäbe magnetisiert worden, so entmagnetisiere sie wie bei Versuch (d).

f) Prüfe, ob die Uhrfedern bereits magnetisiert sind. Leg eine nicht magnetisierte Feder in die Spule, schicke durch diese einen Strom und prüfe, ob die Uhrfeder nach dem Herausnehmen noch magnetisiert bleibt. Läßt sie sich ebenso leicht wie das weiche Eisen entmagnetisieren? Kann man sie mit der Spule entmagnetisieren?

g) Biege den Draht in der Mitte um und wickle die eine Hälfte rechts und die andre Hälfte links herum auf die Glasröhre. Wiederhole mit dieser Spule die Versuche (a) und (b).

Bemerkungen. Als Stromquelle kann man auch die Starkstromleitung benutzen und dabei wie bei den Versuchen über Elektrolyse (vgl. S. 371) elektrische Lampen als Vorschaltwiderstände verwenden.

Man halte streng darauf, daß die Schüler nur während der Versuche und auf möglichst kurze Zeit den Strom schließen. Unzuverlässige Schüler lasse man einen Widerstand in den Stromkreis einschalten.

48. Aufgabe. *Wie ist das Wesen des Drehspulen-Galvanometers zu erklären?*

(1 Schüler, 1/2 Stunde.)

Literatur. Crew-Tatnall *153 Nr. 71.*

Geräte. Trockenkette.
Hufeisenmagnet, der in einem Holzklotz aufrecht steht.
Drehspule.
Stromschlüssel.
Holzgestell oder ein andrer Gegenstand, woran man die Spule aufhängen kann.

Anleitung. a) Schätze die Höhe der Polflächen über der Tischplatte ab. Häng ungefähr in der gleichen Höhe die flache Stromspule an einem Gestell oder Galgen so auf, daß sie sich leicht um ihre lotrechte Achse drehen kann. Laß dabei die Spule den einen Draht spannen und wickle den andern Draht lose um diesen. Verbinde die Kette mit dem Stromschlüssel und der Drehspule zu einem Stromkreis. Schließe den Strom. Bewegt sich dabei die Spule?

b) Stelle nun, während der Strom unterbrochen ist, den Hufeisenmagnet (Fig. 336) so auf, daß die Spule zwischen den Polen hängt. Schließe den Strom. Dreht sich die Spule? Warum bewegt sie sich? Gib dem Magnet verschiedne Stellungen zu den Windungen der Spule und suche die Anordnung, bei der die Drehung am größten wird. Bei welcher Stellung des Magnets findet keine Ablenkung statt, wenn der Strom geschlossen ist? Wie laufen die Kraftlinien des Magnets? Wie muß man die Windungen der Spule zu diesen Kraftlinien stellen, damit die größte Drehung entsteht?

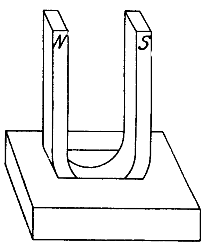

Fig. 336.

c) Stelle den Magnet so, daß seine Kraftlinien den Windungen der Spule parallel laufen und beobachte den Sinn, in dem sich die Spule dreht, wenn ein Strom hindurchfließt. Drehe, ohne die Spule zu berühren, den

Magnet so, daß die beiden Pole ihre Stellen miteinander vertauschen. Schließe den Strom. Vergleiche diese Drehung der Spule mit der vorigen.

d) Laß den Magnet und die Spule in dieser Stellung und vertausche die Drähte an den Polen der Kette. Wie wirkt diese Vertauschung auf die Drehung der Spule ein? Stelle die vorige und die jetzige Stromrichtung fest.

Bemerkungen. Die flache Drehspule besteht aus 10 bis 15 Windungen aus isoliertem Draht von 0,5 mm Durchmesser. An seine Enden sind zwei isolierte Aufhängedrähte von 0,17 mm Durchmesser und 1 m Länge gelötet. Die Spule darf nur so breit sein, daß sie sich zwischen den Polen des Hufeisenmagnets (vgl. S. 310) frei drehen kann. Sind die Aufhängedrähte zu steif, so beschwere man die Spule unten mit einer Bleikugel.

Millikan und Gale *(85 Nr. 30)* benutzen eine Spule von ~ 175 Windungen aus isoliertem Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser und verwenden zur Aufhängung isolierten Kupferdraht von 0,08 mm Durchmesser. Den Aufhängedraht führen sie durch einen Kork in einem Holzstab, der auf einem Gehäuse mit einer Glaswand ruht.

49. Aufgabe. *Wie hängt das magnetische Feld einer Spule von der Stromstärke ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Hadley *193 Nr. 122.*

Geräte. Spule (vgl. S. 455).
Zeigermagnetometer (vgl. S. 307).
Tangentenbussole oder Amperemeter.
Flüssigkeitswiderstand.
Stromwender.
4 Sammler.
Leitungsschnüre für die Spule.
Leitungsschnüre für die Bussole.
Leitungsschnüre.
Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Stelle das Magnetometer so auf, daß seine Schiene senkrecht zum magnetischen Meridian steht. Lege die Spule so auf den Maßstab, daß ihre Achse durch die Mitte der Nadel geht und das nächste Ende ~ 10 cm von der Nadelmitte absteht. Schalte die Spule *S* (Fig. 337) durch zwei lange zusammengedrehte Leitungsschnüre mit dem Stromschwächer *R*, den vier Windungen der Tangentenbussole *T*, dem Stromwender *U* und der Batterie *E* in Reihe und stelle dabei die Bussole in beträchtlicher Entfernung von der Spule auf.

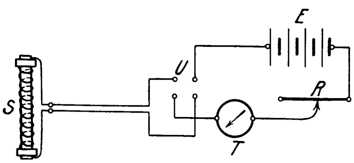

Fig. 337.

b) Stelle den Stromschwächer so ein, daß die Magnetometernadel nur schwach abgelenkt wird. Bestimme unter Wenden des Stromes die Ablenkungen der Magnetometernadel und der Tangentenbussole in der üblichen Weise.

c) Wiederhole die Messungen etwa zehnmal unter Benutzung stärkrer Ströme (bis zu 2 A).

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor $C_4 = \ldots$ [A]. Magnetometer Nr. . . . $H = \ldots$ [Gauß]. Abstand der Spulenmitte von der Magnetmitte . . . cm.

Ablesungen an der Tangentenbussole				α	tg α	J A
Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

Ablesungen am Magnetometer				φ	tg φ	$\mathfrak{H} = H$ tg φ
Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

e) Zeichne auf Millimeterpapier die Kurve $x = \operatorname{tg} \varphi$ und $y = \operatorname{tg} \alpha$. Besteht zwischen der Stromstärke J und der Stärke $\mathfrak{H}$ des magnetischen Feldes der Spule eine einfache Beziehung?

Bemerkungen. Der Spulenkasten besteht aus einer Glasröhre von 30 cm Länge und 0,7 cm äußerm Durchmesser, die mit isoliertem Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser dicht bewickelt ist. Man befestigt die Endwindungen durch Bindfadenstreifen, oder indem man kurze Stücke Kautschukschlauch über die Enden der Glasröhre streift und unter diesen die Drahtenden hindurchführt. Die freien Drahtenden biegt man um und führt sie längs der Spule bis zu deren Mitte.

Die Werte von $\mathfrak{H}$ geben infolge der ungenauen Bestimmung von φ nicht viel mehr als die Größenordnung an, und es empfiehlt sich daher, aus der graphischen Darstellung die Schlüsse zu ziehen. Da die Ablenkungen des Zeigermagnetometers nur klein sind, so erhält man mit dem Spiegelmagnetometer bessere Ergebnisse. Vgl. Abraham *2, 337 Nr. 154.* Schreber-Springmann *2, 250 Nr. 211.*

Man lasse gleichzeitig einige Gruppen diese Aufgabe und andere Gruppen die folgende Aufgabe ausführen.

50. Aufgabe. *Wie hängt die Feldstärke einer Drahtspule von der Windungszahl ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. Henderson, *Preliminary Pract. Magn. and Electric. 32 Nr. 29.* Hadley *193 Nr. 122, 229 Nr. 36.*

Geräte. 1 m Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser.
10 cm-Spule (vgl. S. 457).
Zeigermagnetometer.
Strommesser.
1 Sammler.
Flüssigkeitswiderstand.
Stromwender.
Leitungsschnüre für die Spule.
Leitungsschnüre für die Bussole.
Leitungsschnüre.
Millimeterpapier.

Anleitung. a) Schalte den Kupferdraht S (Fig. 337) durch eine lange zusammengedrehte Leitungsschnur mit dem Sammler E, dem Stromwender U, dem Strommesser T und dem Stromschwächer R in Reihe.

b) Stelle das Magnetometer so auf, daß die Schiene senkrecht zum magnetischen Meridian steht. Wickle auf die 10 cm-Spule 10 Windungen des Kupferdrahtes auf, biege die freien Enden nach der Mitte der Spule zurück, flechte sie zusammen und verbinde sie wieder mit der langen zusammengedrehten Leitungsschnur. Lagere die Spule so auf der Schiene, daß ihre Achse durch die Mitte der Magnetometernadel geht und miß den Abstand der Spulenmitte von der Mitte der Nadel. Stelle den Widerstand so ein, daß der Ausschlag der Magnetometernadel $\sim 15^0$ beträgt. Lies am Strommesser die Stromstärke ab und halte sie während aller Versuche, wenn nötig, durch Reglung des Widerstandes unverändert. Bestimme unter Wenden des Stromes aus den vier Stellungen der Zeigerspitzen die Ablenkung φ der Magnetometernadel.

c) Wickle die Spule ab und bewickle sie so mit dem Kupferdraht, daß 20 Windungen auf die 10 cm kommen. Lagre die Spule auf der Schiene genau in derselben Stellung und in demselben Abstand ihrer Mitte von der Nadelmitte wie bei Versuch (b) und bestimme wie vorher die Ablenkung der Magnetometernadel.

d) Wiederhole die Messungen mit 30 und 40 Windungen auf der 10 cm-Spule.

e) Schreibe die Ergebnisse der Versuche in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Stromstärke $J = \ldots$ [A]. Magnetometer Nr. . . . Abstand der Mitte der Spule von der Mitte der Magnetometernadel . . . cm. $H = \ldots$ [Gauß].

Anzahl N der Windungen auf der 10 cm-Spule	Windungszahl $n = N/10$	Ablesungen des Magnetometerzeigers				Ablenkung φ	tg φ	$\mathfrak{H} = H$ tg φ
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

f) Stelle die Ergebnisse der Messungen graphisch durch die Kurve $x = n$ und $y = \text{tg}\,\varphi$ dar. Welchen Schluß kann man aus der Gestalt der Kurve über die Abhängigkeit der Feldstärke $\mathfrak{H}$ von der Windungszahl n ziehen?

Wie kann man die Ergebnisse dieser Aufgabe und die der Aufgabe 49 zusammenfassen? *Amperewindungszahl auf einem Zentimeter.* $nJ = NJ/l$, wo l die Länge der Spule ist.

Bemerkungen. Der 10 cm-Spulenkasten (Fig. 338) besteht aus einem hohlen Holzzylinder von 0,7 cm Durchmesser und 10 cm Länge. Die quadratischen Stirnscheiben sind so groß, daß die Spulenachse bei der Lagerung auf die Magnetometerschiene genau in der Höhe der Magnetnadel liegt.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 49.

Henderson verwendet 10, 15, 20, 25 und 30 Windungen und ein Magnetometer. Mit einem Zeigermagnetometer mit Spitzenlager gelangen mir die Versuche nicht, wohl aber mit einem Spiegelmagnetometer. Zeigermagnetometer, die für diesen Versuch verwendet werden sollen, müssen Fadenaufhängung haben. Rohe und nur für graphische Darstellung verwendbare Ergebnisse erhielt ich bei einer Stromstärke von 10 A mit einer Taschenbussole.

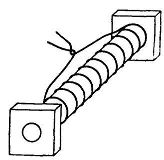

Fig. 338.

Hadley benutzt zwei Spulen, die auf Glasröhren von 25 cm Länge und 0,4 cm äußerm Durchmesser eng gewickelt sind. Für die eine Spule verwendet er isolierten Kupferdraht von 0,3 mm Durchmesser und für die andre Draht von 0,7 mm Stärke. Er schaltet beide Spulen gleichzeitig hintereinander in den Stromkreis und benutzt so lange Verbindungsdrähte, daß er die eine Spule so weit entfernen kann, daß sie auf die Magnetometernadel nicht einwirkt, während er mit der andern die Messungen ausführt.

Man kann bei den Aufgaben 49 und 51 die Feldstärken für einen bestimmten Punkt der Spulenachse auch mit einem Schwingungsmagnetometer miteinander vergleichen.

51. Aufgabe. *Wie groß ist das Aufnahmevermögen, die Durchlässigkeit und die Induktion von gegebenen Eisen- und Stahlsorten?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. Hadley *195 Nr. 123.* Abraham *2, 312 Nr. 137.* Schreber-Springmann *2, 264 Nr. 222.*

Geräte. Magnetisierungsspule. (Vgl. S. 455.)
Ausgeglühte gerade gerichtete Eisendrähte von 20 cm Länge und 1 mm Durchmesser.
Nichtmagnetisierte Stricknadeln.
Zeigermagnetometer.
Tangentenbussole oder Amperemeter (bis 2 A).
Stromwender.
4 Sammler.
Flüssigkeitswiderstand oder Gleitwiderstand (2 m Manganindraht von 0,5 mm Durchmesser).
Leitungsschnüre für die Magnetisierungsspule.
Leitungsschnüre für die Tangentenbussole.
Leitungsschnüre.
Bunsenbrenner.
Dünner Glasstab.
Gasschlauch.
Tiegelzange.
Drahtlehre.
Maßstab.
Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Stelle die Schiene des Magnetometers M (Fig. 337) senkrecht zum magnetischen Meridian. Lege die Magnetisierungsspule S so auf die eine Schiene, daß ihre Achse nach der Mitte der Magnetometernadel weist, verbinde sie durch lange zusammengedrehte Leitungsschnüre mit dem Stromwender U und mit der möglichst entfernt davon aufgestellten Tangentenbussole (4 Windungen), dem Stromschwächer und den vier Sammlern.

b) Halte den Eisendraht, falls er magnetisiert sein sollte, senkrecht zum magnetischen Meridian und glüh ihn in dieser Stellung aus. Leg ihn, wenn er trotzdem noch eine Ablenkung der Magnetometernadel hervorruft, in die Magnetisierungsspule, schicke durch diese zunächst einen schwachen Strom in solcher Richtung, daß die Ablenkung der Nadel geringer wird, und verstärke den Strom so weit, daß die Nadel nach der Unterbrechung des Stromes keinen Ausschlag mehr zeigt.

c) Bestimme bei dem Magnetometer und der Tangentenbussole die Nullage der Zeiger.

d) Lege drei nicht magnetisierte Eisendrähte so in die Magnetisierungsspule, daß die Mitten der Drähte und der Spule zusammenfallen. Miß unter Benutzung des Glasstabes den Abstand r der Mitten der Eisendrähte von der Mitte der Nadel. Schalte so viel Widerstand ein, daß nur ein schwacher Strom durch den Kreis fließen kann. Schließe den Strom und lies beide Instrumente ab, klopfe jedoch dabei nicht an das Magnetometer, das überhaupt in keiner Weise erschüttert werden darf.

e) Vermindere, ohne dabei den Strom zu unterbrechen, den Widerstand, vergrößere so die Stromstärke, bis schließlich die Ablenkung der Bussolennadel 60^0 bis 70^0 (oder der Ausschlag des Stromzeigers 1 bis 2 A) erreicht hat, und wiederhole jene Messungen.

f) Vermindre nun, ohne dabei den Strom zu unterbrechen, die Stromstärke und wiederhole die Messungen.

g) Unterbrich den Strom und lies die Tangentenbussole und das Magnetometer ab. *Remanenz.*

h) Wende den Strom und verfahre wie bei den Messungen (d) bis (g), laß dabei die Stromstärke zunächst so weit steigen, bis die Ablenkung der Magnetometernadel verschwindet. *Koerzitivkraft.* Steigre die Stromstärke noch weiter, bis genau die größte Stromstärke wie bei (e) erreicht worden ist, und laß dann den Strom wieder bis Null abnehmen. Lies die Nullagen beider Zeiger ab.

i) Wende den Strom und laß ihn wieder bis zu der bei (e) erreichten größten Stromstärke ansteigen. Unterbrich den Strom und lies wiederum die Nullagen der Zeiger ab.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Reduktionsfaktor $C_4 =$ . . . [A]. Eisendraht Nr. . . . Länge des Drahtes = . . . cm. Durchmesser des Drahtes = . . . cm. Raum des Drahtes $V =$ . . . [cm³]. Magnetisierungsspule Nr. . . . Länge der Spule $l =$ . . . [cm]. Anzahl der Windungen

$N = \ldots$ Windungszahl $n = N/l = \ldots$ $H = \ldots$ [Gauß]. Abstand der Mitte des Drahtes von der Magnetmitte $r = \ldots$ [cm].

	Magnetometer						M	$\mathfrak{J} = \frac{M}{V}$
	Sinn	Ost-spitze	West-spitze	Mittel	φ	tg φ		
Nullage								

Tangentenbussole						J	$\mathfrak{H}$	$\varkappa$	μ	B
Sinn	Ost-spitze	West-spitze	Mittel	α	tg α					

l) Berechne aus r, φ und H das magnetische Moment des Eisendrahtes

$$M = {}^1/_2\, r^3 H \operatorname{tg} \varphi.$$

m) Miß den Durchmesser und die Länge des Eisendrahtes und berechne daraus seinen Raum V. Bestimme nunmehr die Magnetisierung des Drahtes

$$\mathfrak{J} = \frac{M}{V}.$$

n) Berechne aus der Länge der Magnetisierungsspule l und der Anzahl N der Windungen die Windungszahl $n = N/l$, dann aus der Stromstärke J A und der Windungszahl n die Stärke des magnetischen Feldes im Innern der Magnetisierungsspule

$$\mathfrak{H} = 4\pi n \frac{J}{10}$$

und aus $\mathfrak{H}$ und J das Aufnahmevermögen (Suszeptibilität) des Drahtes

$$\varkappa = \frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{H}},$$

seine Durchlässigkeit (Permeabilität)

$$\mu = 1 + 4\pi\varkappa$$

und seine Induktion

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H}\mu.$$

o) Stelle die Beziehung zwischen der magnetisierenden Feldstärke $\mathfrak{H}$ und der Magnetisierung $\mathfrak{J}$ graphisch dar und setze dabei

$$x = \mathfrak{H} \text{ und } y = \mathfrak{J}.$$

Hysteresiskurve. Entnimm aus der graphischen Darstellung die Größe der Koerzitivkraft und die Größe der Remanenz.

p) Zeichne die Kurve $x = \mathfrak{H}$, $y = \mathfrak{B}$. Schneide die Fläche aus, bestimme deren Inhalt mit der Wage und teile die Maßzahl durch 4π. „*Energievergeudung*".

q) Stelle ebenso die Beziehungen sowohl zwischen $\mathfrak{H}$ und $\varkappa$, als auch zwischen $\mathfrak{H}$ und μ graphisch dar.

Bemerkungen. Ist r nicht groß gegen die Magnetnadel, so nennen wir $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{l}$ die Polabstände des Drahtes und der Nadel ($^5/_6$ ihrer Längen) und setzen

$$\eta = {}^1/_2\,\mathfrak{L}^2 - {}^3/_4\,\mathfrak{l}^2$$

und

$$M = {}^1/_2\,\frac{r^3 H \operatorname{tg} \varphi}{1 + \frac{\eta}{r^2}}.$$

Bei Schülerübungen darf man wohl davon absehen, die Wirkungen der Magnetisierungsspule und ebenso die entmagnetisierende Intensität auszugleichen oder zu berücksichtigen.

Abraham benutzt die zweite Hauptlage.

Da Zeigermagnetometer mit Spitzenlagerung für die Übung etwas unempfindlich sind, so ist es ratsam, Magnetometer mit Fadenaufhängung oder Spiegelmagnetometer zu verwenden. Sind die erhaltenen numerischen Werte zu roh, so lege man auf die graphischen Darstellungen besondern Nachdruck.

Man lasse die Schüler etwa 10 bis 15 Messungen ausführen, einige Gruppen statt der Eisendrähte Stricknadeln oder Uhrfedern verwenden und auch die einzelnen Gruppen mit verschiedenen größten Stromstärken arbeiten.

VII. Induktionsströme.

52. Aufgabe. *Kann man mit einem Magnet einen elektrischen Strom erzeugen?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.
- Stromprüfer, am besten ein Drehspulen-Galvanometer.
- Hufeisenmagnet (vgl. S. 310).
- Langer isolierter Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser.
- Stabmagnet (vgl. S. 309).
- Bussole.
- Stromspule (vgl. S. 464).
- 2 Verbindungsklemmen.
- Kleiner Zinkstreifen oder ein eiserner Nagel.
- Ein Paar lange, nicht zusammengedrehte Leitungsschnüre für den Stromprüfer.

Anleitung. a) Stelle den Stromprüfer auf, verbinde seine Klemmen mit zwei Drähten und drücke das freie Ende des einen Drahtes gegen einen Zinkstreifen (oder ein Messer oder einen Nagel). Tauche das Zinkstück und das freie Ende des andern Drahtes in angesäuertes Wasser oder halte beide, wenn der Prüfer empfindlich genug ist, einfach gegen die Zunge. Schreib auf den Tisch neben die Klemme, in die der Strom eintritt, ein + Zeichen und einen Pfeil, der die Richtung des Prüferausschlags angibt. Ist der Tisch paraffiniert und nimmt er nur schlecht die Kreide an, so hefte ein Stückchen Papier mit diesen Angaben neben den Stromprüfer auf den Tisch.

b) Lege einen starken Hufeisenmagnet mit dem einen Schenkel auf den Tisch in solcher Entfernung von dem Stromprüfer, daß eine kleine Bewegung des Magnets keine oder nur eine schwache Wirkung auf den Stromprüfer ausübt (Fig. 339).

c) Verbinde nun die Klemmen des Stromprüfers mit einem ausreichend langen Draht. Fasse das Mittelstück des Drahtes mit beiden Händen und bewege es rasch zwischen den Polen hindurch, so daß es die Kraftlinien des Magnets senkrecht schneidet. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Ist die Stromdauer groß? In welcher Richtung floß der Strom durch das Mittelstück des Drahtes? Wie verlaufen die geschnittnen Kraftlinien des Magnets? Wie steht die Bewegungsrichtung zu diesen beiden Richtungen? Halte Daumen (1), Zeigefinger (2) und Mittelfinger (3) der rechten Hand so, daß sie rechte Winkel miteinander bilden. Halte den Daumen (1) in die Richtung der Bewegung und den Zeigefinger (2) in die Richtung der Kraftlinien. Wie verhält sich nun die Richtung des ausgestreckten Mittelfingers (3) zu der Richtung des induzierten Stromes? *Dreifingerregel der rechten Hand.*

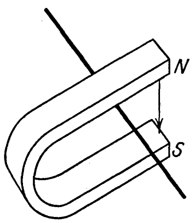

Fig. 339.

d) Bewege nun das Mittelstück des Drahtes rasch in entgegengesetzter Richtung, also aus dem Innenraum des Hufeisenmagnets heraus. Nach welcher Richtung schlägt der Stromprüfer aus? Gilt auch jetzt noch die Dreifingerregel der rechten Hand?

e) Wiederhole die Versuche (c) und (d), doch bewege dabei das Mittelstück des Drahtes recht langsam. Welche Wirkungen treten ein?

f) Wiederhole den Versuch (c), doch halte dabei den Draht einige Sekunden lang da, wo das Feld des Magnets am stärksten ist, still. Welche Wirkung zeigt sich?

g) Bewege den Draht rasch quer durch die Kraftlinien, das eine Mal durch den schwächsten und das andre Mal durch den stärksten Teil des magnetischen Feldes. Welchen Teil des Feldes muß man mit dem Draht durchqueren, wenn man den stärksten Strom erzeugen will?

h) Bewege den Draht möglichst parallel zu den Kraftlinien. Welche Wirkung hat dies auf den Stromprüfer? Entsteht ein Strom, wenn der Draht so bewegt wird, daß er keine Kraftlinien schneidet?

i) Bewege ein langes Mittelstück des Drahtes rasch senkrecht zur Richtung der Kraftlinien der Erde. Entsteht in dem Draht ein Strom? Bewege den Draht parallel zur Richtung der Kraftlinien der Erde. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag?

k) Biege das Mittelstück des Drahtes zu einer Schleife. (Fig. 340). Halte die Schleifenebene senkrecht zur Richtung der Kraftlinien des Hufeisenmagnets und bewege sie rasch in ihrer eignen Ebene so weit, daß die Schleife die größte Zahl der Kraftlinien einschließt. In welcher Richtung fließt der induzierte Strom? Bewege die Schleife in ihrer Ebene rasch aus dem Kraftfeld heraus und stelle wieder die Stromrichtung fest. Besteht ein Zusammenhang zwischen der Vermehrung oder der Verminderung der Kraftlinien innerhalb des Schleifenumfangs und zwischen den Richtungen der Ströme in der Drahtschleife? Sieht das Auge der Richtung der Kraftlinien entgegen, so nennt man die Ströme, die in der Schleife nach rechts oder nach links fließen, rechtsgerichtet oder linksgerichtet. Welche einfache Regel läßt sich für die Ströme aufstellen, die in der Schleife induziert werden?

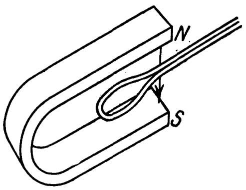

Fig. 340.

l) Bewege die Schleife von verschiednen Seiten her in das Kraftfeld hinein. Bewährt sich die Regel?

m) Drehe den Magnet und damit die Richtung seiner Kraftlinien um und prüfe, ob die Regel auch jetzt noch gilt.

n) Bewege die Schleife parallel zu den Kraftlinien. Entsteht ein Strom?

o) Biege das Mittelstück des Drahtes so zusammen, daß die beiden Teile dicht nebeneinander liegen und beweg es in dem Kraftfeld des Magnets so hin und her, daß die Anzahl der geschnittnen Kraftlinien nicht geändert wird. Entstehen Induktionsströme?

p) Stell aus dem Mittelstück des Drahtes eine kleine Spule von mehrern Windungen her und untersuche, ob bei der raschen Bewegung der Spule in das Feld des Magnets hinein und aus dem Felde heraus die induzierten Ströme stärker sind als bei den Versuchen mit der einfachen Schleife.

q) Halte die Spule senkrecht zu den Kraftlinien zwischen die Pole des Hufeisenmagnets und drehe sie in vier raschen Wendungen jedesmal um 90°. Entstehen Ströme? Wie sind sie gerichtet? Drehe die Spule rasch mehrmals in dem Kraftfeld vollständig herum. Bei welchen Stellungen tritt ein Richtungswechsel des Stromes ein?

---

r) Verbinde die große Drahtspule mit den Klemmen des Stromprüfers. Wie ist das Kraftfeld des Stabmagnets beschaffen? Folgt das Feld den Bewegungen des Magnets?

s) Bestimme die Pole des Magnets und klebe, falls die Pole nicht bereits bezeichnet sind, ein Stückchen Papier auf den Nordpol.

t) Fasse den Magnet am Südpol und stoße den Nordpol rasch in die Mitte der Spule. Wird hierdurch die Gesamtzahl der Kraftlinien, die durch die Spule hindurchgehen, vermehrt oder vermindert? Zeigt der Prüfer einen Strom an, wenn man der Spule den Magnet nähert? Entsteht ein Strom, wenn man den Magnet von der Spule entfernt? Wie verhalten sich die Richtungen beider Ströme? Halte den Nordpol ruhig in die Mitte der Spule. Zeigt der Prüfer einen Strom an, solange der Magnet in Ruhe bleibt? Wiederhole die Versuche mit dem Südpol. In welcher Richtung floß bei jedem Versuch der Strom in der Spule? Welche Seite der Spule, die einen Blattmagnet bildet, ist der Nordpol und welche Seite der Südpol? Stelle in Skizzen die Kraftlinien der Spule und die Kraftlinien des Stabmagnets dar. Muß man bei der Erzeugung der induzierten Ströme Arbeit leisten?

u) Lege den Magnet auf den Tischrand, so daß sein Nordpol darüber hinausragt. Nimm die Spule in die Hand und schiebe sie rasch über den Pol, ohne dabei den Magnet zu berühren. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Wird bei der Bewegung der Spule die Gesamtzahl der Kraftlinien, die die Spule schneiden, geändert?

v) Kehre den Magnet um und laß den Südpol über den Tischrand hinausragen und schiebe, sobald der Stromprüfer zur Ruhe gekommen ist, die Spule über den Pol des Magnets, ohne ihn dabei zu berühren. Wie verhält sich die Richtung des Stromes zu der bei Versuch (u) erhaltnen Richtung? Schneiden die Kraftlinien die Spule in demselben oder in entgegengesetztem Sinn wie vorher?

w) Halte die Spule so, daß sie die größte Anzahl von Kraftlinien des Erdfeldes einschließt, und drehe sie, sobald der Stromprüfer zur Ruhe gekommen ist, rasch in eine solche Lage, daß die kleinste Anzahl der Kraftlinien der Erde hindurchgeht. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag?

x) Lege die Spule flach auf den Tisch und wende sie dann rasch um. Schlägt der Stromprüfer aus? Wie kann man die Erscheinungen (w) und (x) erklären?

y) Lege den Hufeisenmagnet so auf den Tischrand, daß seine Pole darüber hinausragen und schiebe die Spule über beide Pole. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Schiebe die Spule nur über einen Pol des Hufeisenmagnets. Ist die Ablenkung ebenso groß wie vorher? Wie ist dies zu erklären?

Bemerkungen. Die Versuche (a) bis (q) erfordern einen recht empfindlichen Stromprüfer. Er soll bei Versuch (i) einen deutlichen Ausschlag liefern. Zu den Versuchen wurde ein Drehspulen-Spiegelgalvanometer von 5 Ohm Widerstand benutzt und ein Stromprüfer von 0,3 Ohm Widerstand, den die Gebr. Ruhstrat zu Göttingen für die praktischen Kurse in der Alten Urania angefertigt haben.

Statt des Hufeisenmagnets kann man bei einem sehr empfindlichen Stromprüfer zwei starke Stabmagnete verwenden, die man so legt, daß die ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind. Bei weniger empfindlichen Stromprüfern verwende man Elektromagnete, womöglich solche mit geschlitztem ringförmigem Kern. Sie bieten auch den Vorteil, daß man die Richtung der Kraftlinien bequem umkehren kann.

Die Spule, die bei den Versuchen (r) bis (y) verwendet wird, stelle man aus Draht von 0,9 mm Durchmesser her. Man gebe der Spule einen Durchmesser von 10 bis 20 cm und nehme so viele Windungen, daß der Stromprüfer deutlich ausschlägt, wenn man die Spule rasch im Erdfeld umdreht.

Die Zuleitungsdrähte darf man nicht spiralig aufrollen.

Den Stromprüfer beruhigt man, wenn dies erforderlich ist, mit einem Magnet oder bequemer, indem man die Klemmen des Galvanometers durch eine Leitung kurz schließt, in die man einen Stromschlüssel oder einen Druckknopf einschaltet.

Man kann bei dem Versuch (a) den Zusammenhang zwischen der Stromrichtung und dem Sinn des Galvanometerausschlags auch mit einer Trockenkette feststellen. Den zu starken Strom schwächt man durch einen großen Widerstand oder durch eine Abzweigung, man schließt dabei z. B. die Kette mit einem 2 m langen Kupferdraht oder einem Manganindraht von 15 cm Länge und 0,5 mm Dicke kurz.

53. Aufgabe. *Kann man in einem geschlossenen Leiter Ströme erzeugen, wenn man einen benachbarten Stromkreis bewegt oder darin die Stromstärke ändert?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.

Isolierter Draht von ~30 m Länge und 0,9 mm Durchmesser, der zu zwei Spulen verwandt wird. Vgl. S. 465.	1 bis 2 Trockenketten. Stromschlüssel. Stromprüfer. Verbindungsschnüre.

Anleitung. **a)** Wiederhole Aufgabe 52 (a).

b) Bilde aus der einen Spule (primäre Spule), der Kette und dem Stromschlüssel einen Stromkreis. Verbinde die Enden der andern Spule (sekundäre Spule) mit den Klemmen des Stromprüfers. Lege die sekundäre Spule auf den Tisch und die primäre Spule oben darauf. Stelle die Richtung im primären Stromkreis fest. Sieh nach dem Stromprüfer und schließe den Strom. Wie weit und nach welcher Seite schlägt der Stromprüfer aus? Welche Richtung hat der Strom in der sekundären Spule? Entsteht in der sekundären Spule ein dauernder oder ein vorübergehender Strom? Wird der sekundäre Strom durch einen konstanten oder durch einen veränderlichen primären Strom erzeugt? Welche Wirkung ruft das Unterbrechen des Stromes hervor? Wie unterscheiden sich die Ausschläge des Stromprüfers, die beim Öffnen und beim Schließen des Stromes entstehen?

c) Vertausch an der Kette die Drähte miteinander und untersuche, ob beim Schließen des primären Stromes ein sekundärer Strom von derselben Richtung wie vorher erzeugt wird.

d) Laß die sekundäre Spule ruhig liegen. Hebe die primäre Spule empor, drehe sie um und lege sie wieder auf die sekundäre

Spule. Schließe den Strom und beobachte am Prüfer die Richtung des Ausschlags. Ist die Richtung die gleiche wie vor dem Umdrehen der Spule?

e) Schließe den Strom und halt ihn geschlossen, bis der Stromprüfer in die Ruhelage zurückgekehrt ist. Hebe nun, während der primäre Strom mit gleichbleibender Stärke fließt, schnell die primäre Spule von der sekundären ab und ∼ 30 cm hoch oder noch höher empor. Was geschieht in der sekundären Spule? Halte den Strom geschlossen und lege, sobald der Stromprüfer zur Ruhe gekommen ist, die primäre Spule wieder rasch auf die sekundäre. Was geschieht? Hat der Strom, der beim Entfernen entsteht, dieselbe Richtung wie der Strom, der beim Annähern erzeugt wird?

f) Unterbrich den primären Strom und entferne die primäre Spule, durch die also kein Strom fließt, von der sekundären Spule. Wird in dieser eine Wirkung hervorgerufen?

Bemerkungen. Aus dem Draht von 30 m Länge und 0,9 mm Durchmesser wickelt man zwei flache Spulen, die 10 bis 15 cm Durchmesser haben und wovon jede ∼ 15 m Draht enthält. An jedem Drahtende läßt man ein ∼ 60 cm langes Stück gerade, das zur Zuleitung dient.

Der Stromprüfer soll so empfindlich sein, daß er einen deutlichen Ausschlag liefert, wenn man eine der Spulen im Erdfeld umdreht.

Man kann in jeden Stromkreis einen Widerstand und in den primären Kreis einen Strommesser und einen Stromwender einschalten.

Man achte darauf, daß die Schüler den primären Strom nur so lange schließen, wie es der Versuch erfordert.

Anhang.

I. Die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse in der Alten Urania.

In diesem Buch sind Versuche beschrieben, die ich in den Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in den Praktischen Kursen für physikalische Schülerübungen in der Alten Urania habe ausführen lassen. Das Buch beruht auf meinen Vorbereitungszetteln und Versuchsberichten. Man wird es richtig beurteilen, wenn man die Entwicklung der physikalischen Übungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in den praktischen Kursen kennt.

Wenn auch bereits vorher an andern Schulen, wie z. B. am Realgymnasium zu Wiesbaden, am Königstädtischen Realgymnasium zu Berlin, am Askanischen Gymnasium zu Berlin, am Gymnasium zu Gießen usw. physikalische Schülerübungen veranstaltet worden sind, so ist doch in Preußen der beharrlichste Antrieb zur Einführung des neuen Lehrverfahrens vom Dorotheenstädtischen Realgymnasium zu Berlin ausgegangen. Der Bannerträger war der Direktor dieser Schule, der „wirkungsgewaltige" BERNHARD SCHWALBE. Am 16. September 1890 hielt er auf der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Bremen einen Vortrag „*Über die Ausführung von technischen Exkursionen im Anschluß an den chemischen und physikalischen Unterricht und die Möglichkeit der Einrichtung eines physikalischen praktischen Unterrichts an höheren Schulen.*[1]) SCHWALBE, der stets einen sichern Blick für das zunächst Erreichbare hatte, forderte damals nur die „Ausführung einzelner physikalischer Versuche, um nicht durch den Ausdruck physikalisches Laboratorium oder praktische Übungen in der Physik Mißverständnisse zu erregen." Er trat für wahlfreie Übungen ein, um dem Einwand der Überbürdung vorzubeugen, und empfahl, mit diesem Unterricht in Obersekunda zu beginnen. Die Versuche sollten nur Gegenstände be-

---

[1]) *Verh. d. Gesellsch. d. Naturf. u. Ärzte, Bremen 1890. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 4, 209; 1891.*

handeln, die vorher in der Klasse durchgenommen worden sind, auch sollten die Schüler kleinre einfache Apparate selbständig herstellen. Er trat auch dafür ein, die in England und Nordamerika gesammelten Erfahrungen näher zu prüfen und den Versuch zu machen, sie in geeigneter Form für unsre höhern Schulen zu verwerten.

In seinem trefflichen Aufsatz „*Über die Anleitung von Schülern zu physikalischen Versuchen*“ hob dann F. Poske[1]) hervor, daß nach seinen Erfahrungen auch die Schüler der Untersekunda für diese Übungen wohl befähigt seien.

Verhältnismäßig spät, erst im Sommer 1892, richtete Schwalbe am Dorotheenstädtischen Realgymnasium in Obersekunda und Untersekunda physikalische Schülerübungen ein, deren Leitung er H. Bohn übertrug; doch schon im nächsten Halbjahr dehnte er diese Übungen auf alle Klassen aus, in denen Physik unterrichtet wurde. Über die dabei gemachten Erfahrungen berichtete Schwalbe selbst in seinem heute noch wertvollen, leider zu wenig gelesnen und zuweilen wohl nicht recht verstandnen Aufsatz „*Über praktische Schülerübungen*“.[2]) Er wendet sich hier gegen das Arbeiten in gleicher Front: „Zunächst wird man von der Methode absehen müssen, welche in einigen Instituten in Amerika zur Anwendung kommt und jedenfalls eine originelle Seite darbietet, über deren Erfolg man aber nur aus eigner Anschauung ein Urteil gewinnen könnte. Bei uns würde sie in den ganzen Schulorganismus nicht hineinpassen und wegen der erforderlichen Räumlichkeiten und großen Kosten auch versuchsweise nicht angewendet werden können . . . Bei großen Klassen ist sie überhaupt nicht durchführbar.“ Er tritt aber jetzt, durch Poske, die Amerikaner und Engländer und die Erfahrungen an seiner eignen Schule beeinflußt, dafür ein, die physikalischen Übungen schon auf der Klassenstufe zu beginnen, wo der physikalische Unterricht überhaupt anfängt. Er fordert, auch für die Übungen die Klassenteilung beizubehalten. Er hält es für durchaus notwendig, messende Versuche anzustellen, doch wendet er sich gegen wissenschaftliche Messungen, auch könne und solle keine wissenschaftliche Genauigkeit erreicht werden. Er meint, es sei das Beste, die quantitativen und die qualitativen Versuche so zu verteilen, daß ein gewisser Wechsel stattfindet.

Bei den Übungen wurden damals am Dorotheenstädtischen Realgymnasium die Apparate benutzt, die die Unterrichtssammlung enthielt, einige Sammlungen von Meiser & Mertig und wenige von den Schülern selbst angefertigte Apparate.

Bei den Übungen wandte man von vornherein, wie auch heute noch, verschiedne Verfahren an. Schwalbe und seine damaligen Mitarbeiter, Beyer, Bohn und Schiemenz, führten die ganze Einrichtung

---

[1]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 5, 57; 1891.*
[2]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 6, 161; 1893.*

als pädagogisches Experiment großen Stils durch und machten so das Dorotheenstädtische Realgymnasium zu einem Versuchsfeld für das neue Lehrverfahren.

Die Übungen waren für die Schüler wahlfrei. SCHWALBES Lebensarbeit war der Kampf um die Anerkennung der Naturwissenschaften als eines unentbehrlichen allgemeinen Bildungsmittels. Durfte er es dulden, daß einzelne unverständige Schüler sich von den Übungen ausschlossen, die nach seiner innersten Überzeugung für ihre Ausbildung vom höchsten Wert waren? SCHWALBE war eine willenskräftige Persönlichkeit, deren Einfluß sich kein Schüler entziehen konnte.[1]) So kam es, daß schon im Winter 1892/93 alle Schüler seiner Klassen an den Übungen teilnahmen. Bei SCHWALBE schlummerte aber unter der rauhen Schale ein milder Kern. Das wußten die Schüler, und manche waren darauf bedacht, sich für die Teilnahme an den Übungen anderswo Erleichterungen zu verschaffen. Dadurch und durch einige wohlgemeinte, aber doch verfehlte Zwangsmaßregeln kamen die Leiter der Übungen anfangs mehrfach in recht unerquickliche Lagen. Einen lehrreichen Einblick in diese verborgnen Kämpfe und in die ärgerlichen Schwierigkeiten, die anfangs die Übungen bei uns zu überwinden hatten, bietet der oben angeführte Bericht von H. BOHN. Das Endergebnis war jedoch, daß eine Überlieferung geschaffen wurde, der zufolge sich alle Schüler an den Übungen beteiligten.[2]) Darin liegt ein erfreulicher Beweis für die gut preußische Zucht, die in unsern Berliner Schülern steckt. Hierdurch wurde es am Dorotheenstädtischen Realgymnasium möglich auszuprobieren, wie man unter preußischen Schulverhältnissen den verbindlichen Betrieb der physikalischen Schülerübungen ganzer Klassen gestalten kann.

Der Jahresbericht über das Dorotheenstädtische Realgymnasium für das Schuljahr 1900/1901 enthält über die physikalischen Übungen an dieser Schule einen Gesamtbericht, der von BOHN und mir verfaßt und von SCHWALBE überarbeitet worden ist.

SCHWALBES große Verdienste um die physikalischen Übungen sind unbestreitbar; doch hat er auch Versehen begangen, aus denen man noch heute viel lernen kann. SCHWALBE lehnte es zwar entschieden ab, die Arbeitsweise der Universität auf die Schule zu übertragen, doch konnte er sich gegen seinen Willen, und ohne sich dessen bewußt zu werden, davon nicht frei halten. An der Hochschule folgt auf die Vorlesung das Praktikum und an seiner Schule auf den Klassenunterricht die Übung. Auch in der Auswahl der Aufgaben spürt man den Einfluß des „kleinen Praktikums“ seines Schwagers AUGUST KUNDT. Sein Hauptfehler aber war, daß er es

---

[1]) F. POSKE, *Bernhard Schwalbe 9.* H. BOHN, *Zeitschr. f. d. phys u. chem. Unterr. 12, 91; 1899.*

[2]) Die Schüler der Untersekunda jedoch, die mehr als zwei Halbjahre dieser Klasse angehören und die Anstalt mit dem Berechtigungsschein verlassen wollen, dürfen nur auf besondern Wunsch an den Übungen teilnehmen.

unterließ, für die Übungen besondre Geräte zu beschaffen. Die Benutzung der Demonstrationsapparate führte, auch wenn sie mit Teilungen versehen waren, zu einer allzustarken Anlehnung der Übungen an die Demonstrationsexperimente. In dem Bau geeigneter Apparate und in der Ausarbeitung der Versuche, die damit anzustellen sind, hat KARL NOACK, der neben BERNHARD SCHWALBE an erster Stelle den Schülerübungen bei uns zur Anerkennung verholfen hat, unvergleichlich mehr geleistet. Wir ständen heute in den Schülerübungen wohl auf einer höhern Stufe als die Amerikaner und Engländer, wenn SCHWALBE seine ursprüngliche Absicht durchgeführt hätte, ihre Versuche und Geräte näher zu prüfen. Er hatte die beiden besten Werke, die es zu seiner Zeit gab, WORTHINGTONS *First Course* und HALLS *Descriptive List* in Händen. Warum benutzte er diese ausgezeichneten Vorarbeiten nur gelegentlich? Es fehlte ihm der richtige Mechaniker, und er überschätzte daher die Kosten einer solchen Prüfung bedeutend.

SCHWALBE hatte seine Mitarbeiter bei den Übungen selbst zu Lehrern herangebildet, nur ich gehörte einer andern Schule an. Ich hatte meine Vorbildung in dem Institut zur Ausbildung von Lehrern der Mathematik erhalten, das mit dem Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin verbunden war und von KARL SCHELLBACH geleitet wurde. Der große Schweiger SCHELLBACH pflegte mit einem Satz mehr zu sagen als andre in einem langen Vortrag. In einer Zwischenstunde, das waren unsre Seminarsitzungen, hatte uns SCHELLBACH auf die damals beginnenden amerikanischen Bestrebungen, den physikalischen Unterricht umzugestalten, mit den wenigen Worten hingewiesen: „In den amerikanischen Schulen wollen sie jetzt sogar Erfinder großziehen.“ SCHELLBACH war damals bereits viel zu betagt, um sich noch eingehend mit dieser Frage beschäftigen zu können. Mich aber hatte diese kurze Bemerkung, die halb anerkennend, halb ablehnend gemeint war, stark angeregt, und als mich SCHWALBE an seine Anstalt berief, brachte ich nicht nur die Überlieferungen der SCHELLBACHschen Schule, sondern auch eine nahezu vollständige Kenntnis der amerikanischen und englischen Schriften über Schülerübungen mit. Als ich damals SCHWALBE fragte, nach welchem Verfahren ich die physikalischen Übungen leiten sollte, erwiderte er mir: „Machen Sie es so, wie Sie es für am besten halten“. Diese schwere Anweisung entsprach durchaus SCHWALBES Ansichten von der künftigen Entwicklung der Schülerübungen. „Aber nur, wenn die Sache von vielen Seiten angegriffen wird, und wenn die gesammelten Erfahrungen und Anschauungen ausgetauscht werden, ist Aussicht auf dauernden Bestand vorhanden.[1]).

Jeder Schellbachianer mußte sofort erkennen, daß das im Ausland vielfach angewandte Verfahren des Arbeitens in gleicher Front in seinem Wesen nichts andres war, wie eine folgerichtige Über-

---

[1]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 6, 163; 1893.*

tragung des SCHELLBACHschen Lehrverfahrens von dem mathematischen auf den physikalischen Unterricht. Es war zu erwarten, daß jenes Verfahren auch bei uns zu denselben Erfolgen wie im Ausland führen würde, wenn unsre Schüler bei den physikalischen Übungen mit der gleichen Geschwindigkeit arbeiteten und die Kosten für die erforderlichen Geräte auch bei uns erschwingbar wären. Da ein so hervorragender Physiklehrer wie SCHWALBE erklärt hatte, daß das Verfahren an unsern Schulen undurchführbar sei, so war bei seiner Prüfung mit großer Vorsicht vorzugehen.

Zunächst ließ ich einzelne amerikanische und englische Versuche, die mit vorhandnen oder leicht selbst herstellbaren Geräten ausführbar waren, anstellen, ohne an den seitherigen Arbeitsweisen etwas zu ändern. Es zeigte sich, daß diese Versuche mit wenigen Ausnahmen auch bei uns mit gutem Erfolg verwertbar sind.

Ich ließ ferner planmäßig die Schüler selbständig auch schwierigere Apparate bauen. Diese Übungen bewährten sich nicht. Die Schüler fertigten zwar mit viel Vergnügen und Geschick ganz brauchbare Vorrichtungen an, doch war der Aufwand an Zeit zu groß und der Gewinn an physikalischer Bildung zu klein. Heute lasse ich die Schüler nicht mehr zusammengesetztere Geräte herstellen, doch müssen sie stets selbständig den Aufbau der Apparate und die dabei erforderlichen Anpassungen ausführen.

Ein Schuljahr ist 25 v. H. der Zeit, die auf die physikalische Ausbildung eines Schülers verwandt wird, und mehr als 3 v. H. der Zeit, in der durchschnittlich ein Lehrer Physik unterrichten kann. Die Umgestaltungen der Lehrverfahren vollziehen sich bei uns zuweilen so langsam, daß eine gesunde, gleichmäßige Fortentwicklung gefährdet wird, und wir dann später gezwungen werden, Rückständigkeiten durch gefährliches sprungweises Vorgehen zu überwinden. Daher unternahm ich zur raschen Aufklärung der Sachlage mit meinen Schülern einen verwegnen pädagogischen Streifzug. Er glückte. Es ist zwar am Dorotheenstädtischen Realgymnasium im chemischen und physikalischen Unterricht Überlieferung, daß die Lehrer alle Kräfte rücksichtslos bis zur vollen Erschöpfung einsetzen, doch waren, da weder ausreichende Arbeitsräume noch die erforderlichen Geräte zur Verfügung standen, die Arbeiten und Sorgen bei diesem gewagten Vorgehen so groß, daß ich heute, wo die Sache hinter mir liegt, es nicht mehr unternehmen möchte, noch einmal etwas Ähnliches auszuführen trotz des großen Reizes, den ein solches durch seinen ungewissen Erfolg aufregendes Wagnis ausübt.[1]) Ich ließ bei den Übungen in gleicher Front

---

[1]) Die Forderungen, die ich auf Grund harter Erfahrungen in meinem Breslauer Vortrag freimütig aufgestellt habe, erregten anfangs Verwunderung, die inzwischen anscheinend geschwunden ist, und sie wurden zuweilen mit Unrecht und ohne die erforderliche Erfahrung abgelehnt. W. KAISER, *Physik. Schülerübungen 2*, übersieht, daß seit 16 Jahren am Dorotheenstädtischen

arbeiten und Aufgaben behandeln, deren Stoff im Klassenunterricht noch nicht in der üblichen Weise durchgenommen war. In großen Klassen arbeiteten die Schüler alle vierzehn Tage praktisch, und es lag mithin ein zu großer Zeitraum zwischen dem Versuch und der nachfolgenden Auswertung in der Klasse. In kleinen Klassen, deren Schüler alle acht Tage arbeiteten, war diese Schwierigkeit erheblich geringer. Die erforderlichen Geräte wurden mit Hilfe der großen Bestände an Rohmaterial hergestellt, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium für die dort bestehenden Experimentierkurse vorhanden sind. Da ich aber das neue Verfahren gleichzeitig in drei Klassen durchführte, so war die Sorge um die erforderlichen Geräte und die Anpassung von Aufgaben und Geräten aneinander sehr groß. Die Sache war angefangen, zurück konnte und mochte ich nicht, also hieß es „durch!". Ließ sich mit unsern Stegreifgeräten kein quantitativer Versuch durchsetzen, dann machten wir einen qualitativen. Trotz aller Schwierigkeiten waren die Ergebnisse recht befriedigend. Ich konnte feststellen, und das war die Hauptsache, daß die Schüler derselben Klasse[1]) nahezu mit gleicher Geschwindigkeit arbeiteten, und zwar ebenso schnell wie ihre amerikanischen und englischen Altersgenossen. Es wurden zugleich bei diesem pädagogischen Experiment Lehrgänge von Crew-Tatnall, Glazebrook, Gregory-Simmons, Hadley, Nichols-Smith-Turton, Schuster-Lees, Watson, Whiting, Worthington u. a. ganz oder teilweise auf ihre Verwertbarkeit an deutschen Schulen geprüft.

Nach diesen ermutigenden Vorversuchen ging ich zum endgültigen Bau von besondern Geräten für Schülerübungen in gleicher Front über. Hier hatte ich das Glück, in F. A. Hintze einen Mechaniker zu finden, der den neuen Aufgaben vollkommen gewachsen war. Ich fertigte zunächst für das zu behandelnde Gebiet einen Arbeitsplan an, d. h. ein Verzeichnis der Aufgaben, die ich in dem Lehrgang lösen wollte. Dann stellte ich alle Apparatenformen zusammen, die man bis dahin für diese Zwecke ersonnen hatte, und entwarf, wo es mir nötig schien, so viel neue Konstruktionen, als mir einfielen. Hierauf besprach ich mit Hintze alle diese Formen und ihre notwendigen oder zweckmäßigen Umändrungen. War keine der Formen zu gebrauchen, so entwarfen wir eine neue, die nach unsrer Meinung am besten den Bedürfnissen der Schule und der Leistungsfähigkeit der Werkstatt entsprach. Wir erstrebten dabei folgende Ziele: Die Geräte sollten möglichst einfach, handfest und billig sein und ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Die wesentlichen Teile sollten mit großer Sorgfalt hergestellt und auf die unwesentlichen Teile keinerlei überflüssige Arbeit verschwendet werden.

Realgymnasium die Übungen ohne besondern Arbeitsraum ausgeführt werden.

[1]) Die physikalischen Arbeitsgeschwindigkeiten eines Obertertianers und eines Oberprimaners sind erheblich verschieden.

Über die Erfahrungen, die ich während der ersten drei Jahre gesammelt hatte, habe ich am 2. Juni 1903 auf der Hauptversammlung des Vereins zur Förderung des Unterrichts in der Mathematik und der Naturwissenschaften zu Breslau berichtet.[1])

Beim Arbeiten in gleicher Front stellte es sich bald als unzweckmäßig heraus, die Übungsstunden von dem übrigen Physikunterricht getrennt abzuhalten; es erwies sich vielmehr bereits im Winter 1903/1904 als ein bedeutender Fortschritt, die Übungen und den Klassenunterricht miteinander zu verweben.[2])

Ferner zeigte es sich, daß der physikalische Unterricht, in den Übungen eingewebt sind, fast ebenso rasch wie der reine Klassenunterricht fortschreiten kann, wenn man in geeigneten Fällen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwendet, d. h. die Hauptaufgabe in Teilaufgaben zerlegt, die man gleichzeitig von verschiednen Schülern ausführen läßt.[3]) In den „Bemerkungen" dieses Buches ist überall darauf hingewiesen, wo sich dieses Verfahren empfiehlt.

Die Aufstellung der Aufgaben für die physikalischen Schülerübungen, die mit dem Klassenunterricht verwoben sind, verlangt die Umformung des gesamten physikalischen Lehrstoffs in Probleme und das Aufsuchen der besten Reihenfolge dieser Probleme. Daher sind die Ausführungen von F. Poske *„Über Grundfragen des physikalischen Unterrichts"*,[4]) die man leider bis jetzt viel zu wenig beachtet hat, für die Schülerübungen von grundlegender Bedeutung.[5])

Das vorliegende Buch bringt die Übungsaufgaben keineswegs in der „besten Reihenfolge", sondern in der Anordnung, wie sie in den Arbeitsplänen meiner Uraniakurse stehen.

Ich zerlege jetzt beim fortschreitenden Unterricht so gut, wie ich es eben kann, den physikalischen Lehrstoff in Probleme und behandle diese in drei Stufen: Aufstellung, Lösung und Wertung.[6])

Bei der Aufstellung des Problems suche ich durch Fragen aus den Schülern ihre Erfahrungen und Gedanken herauszulocken.

---

[1]) Ein kurzer Auszug ist in dem *Unterrichtsbl. f. Mathematik u. Naturwissenschaften 9, 108; 1903* erschienen. Der vollständige Abdruck dieses Vortrags bildet den ersten Teil meines Aufsatzes: *Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten? Abhandl. zur Didaktik u. Philosophie d. Naturwissenschaft 1, 269 (Heft 4).* Der Aufsatz wurde im April 1904 gesetzt, das Heft erschien im Herbst 1904, trägt aber die Jahreszahl 1905 und der Band die Jahreszahl 1906.

[2]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 73; 1904 u. 21, 73; 1908.*

[3]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 21, 73; 1908.*

[4]) *Unterrichtsbl. f. Mathem. u. Naturw. 7, 46; 1901.*

[5]) H. Hahn, *Die Lehraufgaben d. phys. u. chem. Unterr. an den höheren Schulen Frankreichs. Wissenschaftl. Beilage zum Jahresber. d. Dorotheenstädt. Realgymn. Ostern 1906. S. 16.*

[6]) *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 21, 56; 1908.*

Die vorhandenen Anschauungen ergänze und kläre ich durch qualitative Versuche (zumeist Freihandversuche), die ich selbst vorführe oder einen Schüler machen lasse, oder die alle Schüler als Übung ausführen. Von diesen qualitativen Vorübungen habe ich nur wenige in das Buch aufgenommen. Ich lasse, um die Tatsachen beschreiben zu können, vorläufige Begriffe bilden und die Beziehungen zwischen den Begriffen und Tatsachen und zwischen den Begriffen untereinander erörtern, die nach den Beobachtungen zulässig und wahrscheinlich sind, und schließlich unter starker Betonung der besten Annahmen das Problem aufstellen. Nun rege ich die Schüler an, sich Versuche und Apparate auszudenken, die zu einer Lösung des Problems führen können; und falls diese durch Schülerübungen herbeigeführt werden soll, werden die Versuchsgänge, wie sie in den Anleitungen dieses Buches enthalten sind, als voraussichtlich zweckmäßige Wege herausgearbeitet. Auf dieser Vorstufe kommt es vor allem darauf an, die Lust und Aufmerksamkeit der Schüler kräftig zu erregen und ihrem Willen und Denken eine bestimmte Richtung zu geben.

Die Lösung des Problems, die von der Annahme zum Gesetz fortschreitet, erfolgt zuweilen durch eine rein geistige Betrachtung, manchmal aber durch einen Versuch, den ich ausführe oder einen Schüler vor der Klasse anstellen lasse, oder, wo es durchführbar ist, durch eine Hauptübung, die die Schüler zur Auffindung des vermuteten Gesetzes hinleitet. Solche Übungen bilden den wesentlichen Inhalt dieses Buches.

Auf der letzten Stufe, bei der Wertung des Problems, lasse ich die Schüler die Begriffe und das Gesetz scharf fassen und die Folgerungen daraus ziehen, die zuweilen auch Vorführungen von Versuchen und Schülerübungen (Nachübungen, wie Konstantenbestimmungen, Bestätigungen usw.) notwendig machen.

Bei diesem kurz angedeuteten Unterrichtsbetrieb hat der Lehrer möglichst zurückzutreten; der Schüler aber ist überall zur Selbsttätigkeit und Selbsthilfe anzuspornen. Auch die Demonstrationsexperimente soll, wo es irgendwie geht, ein geschickter Schüler ausführen. Was ein Schüler in seinem Lehrbuch oder in einem ihm zugänglichen Hilfsmittel, wie Kohlrausch, Landolt-Börnstein usw., selbst finden kann, darf ihm der Lehrer nicht sagen. Kommt ein Schüler nicht zum Ziel, so hat ihm zunächst ein Mitschüler und erst an letzter Stelle der Lehrer zu helfen. Einen glänzenden Abschluß erhält das Problem in der Hervorhebung seiner Bedeutung für Wissenschaft und Menschheit. Hier hat sich der Lehrer als ein Mann von umfassender und tiefer Bildung zu offenbaren und seine Schüler mit hoher Begeisterung für seine Wissenschaft zu erfüllen. Neben der Aufstellung des Problems ist die Wertung der schwerste, aber auch der schönste Teil des Lehrverfahrens. Jeder Lehrer, der seinen Unterricht in Probleme zerlegt, wird nicht selten bei der versuchten Wertung mit schrecklicher Klarheit erkennen, welchen Tand die systematischen Lehrgänge allmählich in unsern Lehrbüchern aufgehäuft haben.

Das hier geschilderte Lehrverfahren, das die wahlfreien Schülerübungen ausschließt, läßt sich an den preußischen Realgymnasien, Oberrealschulen und Realschulen ohne weiteres durchführen, wenn man, wie am Dorotheenstädtischen Realgymnasium, den Stundenplan so gestaltet, daß in jeder Woche einmal zwei Stunden aufeinander folgen, wenn man Arbeitsräume einrichtet und allmählich die erforderlichen Apparate anschafft. Bei großen Anstalten wären die Klassen zu teilen, die mehr als 20 Schüler haben; das stellt sich nicht teurer als die Einrichtung der wahlfreien Übungen, die den Schülern ihre kostbare freie Zeit rauben. An kleinern Schulen ist das neue physikalische Lehrverfahren leichter durchzuführen, als an den ungesunden Riesenanstalten der großen Städte, die immer mehr mit den Bedürfnissen des sprachlichen und naturwissenschaftlichen Unterrichts unvereinbar werden.

Es sind noch einige Worte zu sagen über die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse in der Alten Urania zu Berlin, deren Einrichtungen wenig bekannt sind und oft mißverstanden werden. Diese Kurse hat das Königliche Preußische Kultusministerium im Sommer 1899 eingerichtet und ihre Leitung Bernhard Schwalbe und Otto Vogel übertragen.[1] Die Kurse dienen zur praktischen Vorbildung und Weiterbildung der Lehrer für den naturwissenschaftlichen Unterricht an den höhern Schulen Großberlins und werden hauptsächlich von Seminarkandidaten und Probekandidaten, aber auch, was sehr erfreulich ist, von jüngern und ältern Oberlehrern und Direktoren besucht.

Dieses Institut, das jetzt unter der Oberleitung des Provinzial-Schulrats und Geheimen Regierungsrats Dr. Otto Vogel steht und dem Königlichen Provinzial-Schulkollegium unterstellt ist, zerfällt in folgende Abteilungen: 1. Zoologischer Kursus (Leiter: Dr. Röseler). 2. Botanischer Kursus (Prof. Dr. Kolkwitz). 3. Physikalische Kurse a) für Demonstrationsexperimente (Prof. Bohn) und b) für Schülerübungen (Prof. Hahn). 4. Chemischer Kursus (Prof. Dr. Böttger). 5. Kursus in darstellender Geometrie (Dir. Prof. Dr. Müller). 6. Kurse in der mechanischen Werkstatt (Mechaniker und Optiker Hintze).

Ursprünglich bestand nur ein einheitlicher physikalischer Kursus, in dem Übungen in Demonstrationsexperimenten stattfanden. Geheimrat Vogel, der schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts am Königstädtischen Realgymnasium physikalische Schülerübungen eingerichtet hatte, sah mit weitem Blick die starke Aus-

[1] B. Schwalbe, *Über praktische Kurse zur Vorbildung und Weiterbildung der Lehrer der Naturwissenschaften. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 12, 319; 1899.*

breitung dieses neuen Lehrverfahrens voraus und veranlaßte bereits im Winter 1902/03 die Ausbildung der Teilnehmer am physikalischen Kursus in der Leitung von Schülerübungen. Die Teilnehmer an dem Kursus bildeten von nun an zwei Gruppen. Die eine Abteilung machte während der einen Kursushälfte bei Prof. BOHN Demonstrationsexperimente, während die andre Abteilung bei mir Versuche ausführte, die für Schülerübungen geeignet waren. In der Mitte des Kursus wechselten beide Gruppen mit ihren Übungen. Es stellte sich jedoch heraus, daß bei dieser Arbeitsteilung für jedes Verfahren die Ausbildungszeit zu kurz war, und es wurden daher im Sommer 1907 beide physikalischen Kurse vollständig voneinander getrennt.

Mit den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen in der Alten Urania ist eng verbunden der Naturwissenschaftliche Ferienkursus für Lehrer höherer Schulen, den das Kultusministerium veranstaltet. Auch hier läßt Herr Geheimrat VOGEL seit einigen Jahren durch mich einen Kursus in der Leitung von physikalischen Schülerübungen abhalten.

Auf Anregung des Herrn Geheimrats VOGEL habe ich 1903 eine Untersuchung darüber angestellt, wie die Arbeitsräume für Schülerübungen einzurichten und auszustatten seien, um ein klares Bild von den Kosten zu gewinnen, die die äußern Einrichtungen für Schülerübungen verursachen. Diese Ausarbeitung bildet den zweiten Teil meiner Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*" Nach den dort gemachten Vorschlägen ließ Herr Geheimrat VOGEL im Winter 1905/06 durch mich das Laboratorium für Schülerübungen in der Alten Urania einrichten, das einen Arbeitsraum für Übungen und ein Meßzimmer für die wissenschaftliche Prüfung der Übungsgeräte umfaßt.

In der ersten Zeit benutzten wir in den praktischen Kursen der Alten Urania Nachbildungen der Geräte, die sich bei den Schülerübungen des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums bewährt hatten. Die ersten Ausführungen eines Apparates haben unvermeidlich kleinre oder größre Unvollkommenheiten. Solche Geräte sind für unsre Schüler zumeist minderwertig, in hohem Maß aber anregend für Lehrer, die später selbst solche Geräte ersinnen sollen. Daher habe ich in neuerer Zeit das Verhältnis umgekehrt. Heute werden die neuen Geräte für die praktischen Kurse angefertigt und dort erprobt, und das Dorotheenstädtische Realgymnasium schafft sich dann das an, was sich in der Alten Urania bewährt hat.

II. Betrieb der Schülerübungen.

Ich habe das Verfahren in der mehrfach erwähnten Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*" ausführlich erörtert und meine spätern Erfahrungen in dem voranstehenden Abschnitt dieses Buches zusammengestellt. Im folgenden sind einige Einzelheiten des Betriebs (die Arbeitsordnung, die allgemeinen Ratschläge, die Auswertung der Beobachtungen und die Übungsberichte) für künftige Leiter von Schülerübungen behandelt. Ich selbst habe bis jetzt keine Arbeitsordnung und Ratschläge ausgehängt, sondern suche ihre Ziele durch beharrliches mündliches Wiederholen der Vorschriften und allmähliche Gewöhnung der Schüler zu erreichen. Doch verkenne ich nicht die Vorteile solcher allgemeinen Regelungen, aber auch nicht ihre Gefahren. Die größten sind: rein mechanischer, nur äußerlich tadelloser Betrieb der Übungen und zu starke Beschränkung der Bewegungsfreiheit der Schüler.

A. Arbeitsordnung.

1. Es ist verboten, vor dem Beginn der Übung den Arbeitsraum zu betreten.

2. Überzieher, Hüte, Mützen, Schulmappen oder dgl. dürfen nicht in den Arbeitsraum hineingebracht und dort abgelegt werden.

3. Beim Beginn der Übung hat jeder Schüler nachzusehen, ob sein Arbeitsplatz in Ordnung ist. Alle Unordnungen sind sofort zu beseitigen und, wenn dies nicht möglich ist, dem Leiter zu melden.

4. Beim Beginn der Übung hat jeder Schüler festzustellen, ob alle Geräte, die in der Geräteliste der Aufgabe verzeichnet sind, auf seinem Arbeitsplatz stehen, und sofort dem Lehrer jeden Mangel anzuzeigen. Die Nummern der bezifferten Geräte sind in den Übungsbericht einzutragen.

5. Kein Schüler darf ohne besondre Erlaubnis des Leiters Geräte aus den Schränken und von den Gestellen nehmen oder aus der Werkstatt und der Sammlung holen.

6. Es ist nicht erlaubt, von Mitschülern Geräte zu leihen.

7. Sollte ein Gerät schmutzig oder sonstwie in Unordnung sein, so ist dies sofort dem Leiter zu melden.

8. Jeder Schüler ist für die Geräte, die er benutzt, verantwortlich und er hat sofort dem Leiter jede Beschädigung eines Gerätes während des Versuchs zu melden. Der Schüler hat allen Schaden zu ersetzen, den er durch bösen Willen oder grobe Sorglosigkeit verursacht.

9. Jeder Schüler ist verpflichtet, die Geräte und Stoffe, die ihm zu Versuchen anvertraut werden, mit reiflicher Überlegung, gewissenhafter Sorgfalt und weiser Sparsamkeit zu benutzen. Sofort nach dem Gebrauch ist jede Flamme auszulöschen, jeder Wasserhahn zu schließen und jeder elektrische Strom zu unterbrechen. Es ist verboten, Säuren u. dgl. mit guten Tüchern aufzuwischen.

10. Es ist verboten, an Schrauben, Kurbeln, Ausschaltern, Gashähnen oder dgl. gedankenlos spielend zu drehen, Glas- und Ebonitflächen unnötig mit den Fingern zu berühren und auf Teilungen der Geräte Marken usw. einzuritzen.

11. Es ist untersagt, ohne Benutzung des Quecksilberbrettes mit Quecksilber und ohne Asbestunterlage mit Brennern zu arbeiten.

12. In den Ausguß darf nur Wasser gegossen werden; alle andern Stoffe sind in die Töpfe, Eimer oder sonstigen Behälter zu schütten oder zu legen, die der Leiter dafür bestimmt hat.

13. Die Tischplatte ist mit großer Schonung zu behandeln.

14. Es ist untersagt, Abfälle, wie Papier, Streichhölzer u. dgl., auf dem Tisch und dem Fußboden liegen zu lassen.

15. Lautes Reden ist verboten. Leise Gespräche mit den Mitarbeitern sind nur dann gestattet, wenn sie für die Durchführung der Versuche erforderlich sind.

16. Jeder Schüler hat alle Anordnungen und Handlungen zu unterlassen, die seine Mitschüler stören, belästigen oder gefährden können.

17. Am Ende jedes Versuches müssen die Schüler die Geräte in demselben guten Zustand abliefern, wie sie sie beim Beginn des Versuches empfangen haben. Alle Glas- und Blechgefäße sind auszuspülen und abzutrocknen oder auf das Ablaufbrett oder Trockengestell zu stülpen. Gas- und Wasserhähne müssen geschlossen und die Ausschalter geöffnet sein. An den Klemmen der benutzten Elemente oder Sammler dürfen keine Verbindungsdrähte sitzen. Die Leitungsdrähte sind sorgsam aufzurollen und auf die Stäbe ihres Gestells zu schieben. Der Tisch ist abzuwischen und das benutzte Tuch aufzuhängen.

18. Die Schüler, die die Vorschriften dieser Arbeitsordnung nicht gewissenhaft erfüllen, sind für alle Schäden verantwortlich, deren Urheber nicht ermittelt werden.

B. Ratschläge.

1. Lies vor dem Versuch die ganze Anleitung gründlich durch. Überlege sorgfältig, was zu tun und wie es zu tun ist. Achte dabei darauf, welche Beobachtungen besonders schwierig, welche Messungen ganz genau auszuführen und welche Vorsichtsmaßregeln streng zu beachten sind.

2. Sieh vor dem Versuch alle Geräte genau an und mache dir ihren Bau, ihre Arbeitsweise und ihre Handhabung ganz klar. Stelle die Geräte ordentlich auf und prüfe, wenn Vorversuche zulässig sind, ob die Vorrichtungen richtig arbeiten. Achte bei den Geräten auf alle Einrichtungen, die etwa ungenaue Ergebnisse hervorrufen können. Gib allen Geräten, auch denen, die augenblicklich noch nicht gebraucht werden, einen bestimmten Platz. Baue erst ab und gib erst dann die Geräte zurück, wenn du sicher weißt, daß du die Vorrichtungen nicht mehr bedarfst.

3. Richte vor dem Beginn der Messungen an einer geeigneten Stelle des Berichts die Tafel ein, in die die Ergebnisse einzutragen sind. Spare dabei nicht mit dem Raum. Vergiß auch nicht, für Bemerkungen zu jeder einzelnen Messung eine besondre Spalte hinzuzufügen.

4. Richte deine ganze Aufmerksamkeit auf den Versuch und beachte gewissenhaft und vorurteilsfrei alle Erscheinungen und Umstände, die das Ergebnis beeinflussen können. Scheue keine Mühe und Unbequemlichkeit. Mache die Versuche ohne Hast und mit Überlegung.

5. Führe jede einzelne Ablesung mit der größten erreichbaren Genauigkeit aus, als ob von ihr allein das Ergebnis der Versuche abhinge.

Von dieser strengen Arbeitsweise darf man nur dann abweichen, wenn man sich durch eine gründliche und umfassende Überlegung die Gewißheit verschafft hat, daß man bei andern Messungen desselben Versuchs so große Fehler durchaus nicht vermeiden kann, daß jene peinliche Sorgfalt in der Tat zwecklos ist.

Schätze bei allen Ablesungen stets die Zehntel der kleinsten Teilstrecke. Beachte dabei, daß die Teilstrecke der Abstand der Mitten zweier benachbarten Teilstriche ist.

Vermeide die großen Fehler. Schätze also beim Thermometer nicht nur die Zehntelgrade sorgfältig, sondern lies auch die ganzen Grade richtig ab. Richte deine Aufmerksamkeit nicht nur auf die Zehntelmillimeter, sondern bestimme auch die Anzahl der Zentimeter und Millimeter richtig.

Vergiß nicht, vor dem Ablesen von Zeigern, Flüssigkeitsständen usw. schwach gegen die Meßgeräte zu klopfen; überlege jedoch in jedem einzelnen Fall, ob diese Erschütterung zweckmäßig und zulässig ist.

6. Schreibe sofort alle Messungen an der geeigneten Stelle des Berichtes deutlich auf, und zwar genau so, wie du sie an den Teilungen abgelesen hast, ohne zuvor eine Umrechnung vorzunehmen oder eine Verbeßrung anzubringen. Trage alle Umrechnungen und Verbeßrungen besonders ein. Zeichne z. B. den Beginn und das Ende eines Ereignisses in Minuten und Sekunden auf und rechne erst später die Dauer des Ereignisses in Sekunden aus. Schreibe nicht nur die Maßzahlen, sondern auch die Maßeinheiten und vor allem die gemeßne Größe selbst auf.

7. Befürchte keine falschen Ergebnisse. Schreibe alle Messungen auf, auch wenn sie mit frühern ganz genau übereinstimmen oder davon bedeutend abweichen. Ein Ergebnis darf nur dann verworfen werden, wenn bei der Messung nachweislich ein Versehen vorgekommen oder eine Störung eingetreten, oder wenn schon bei der Messung ein Bedenken aufgestiegen ist. Auch diese verworfnen Ergebnisse sind aufzuschreiben und in den Bemerkungen die Gründe für das Ausschließen anzuführen.

8. Schreibe alle Aufzeichnungen, die nicht in Tafeln eingetragen werden, als Gleichungen oder in vollständigen Sätzen nieder.

9. Beantworte schriftlich knapp und bestimmt alle Fragen, die in der Anleitung gestellt sind. Bitte, wenn du dir nicht selbst helfen kannst, einen Mitschüler oder den Lehrer um Auskunft.

10. Führe während des Versuchs keine Arbeit aus, die du eben-

sogut nach Beendigung des Versuchs tun kannst. Mach also Rechnungen nur dann, wenn deren Ergebnisse unbedingt zur Fortführung des Versuchs erforderlich sind.

11. Schreibe die Rechnungen vollständig auf, so daß du jeden einzelnen Schritt sofort nachprüfen kannst. Rechne nie auf einzelnen Papierstücken, wie Löschpapier, Briefumschlägen, Postkarten usw.

12. Ziehe nur aus den eignen Beobachtungen Schlüsse.

13. Sieh bei falschen Ergebnissen zunächst nach, ob du keine Rechenfehler begangen hast. Mache erst mit den stark abgerundeten Zahlen einen groben Überschlag und wiederhole dann erforderlichenfalls die Rechnung mit den vollständigen Zahlen.

14. Prüfe dann gewissenhaft, ob das Mißlingen des Versuchs Mängeln der Geräte, der eignen Unerfahrenheit oder Sorglosigkeit zuzuschreiben ist, und weise, wenn Fehler feststellbar sind, auf geeignete Mittel hin, sie zu verkleinern oder zu vermeiden.

C. Auswertung der Beobachtungen.

Hierüber findet man ausreichende Belehrung bei F. Kohlrausch [10] *1 ff.*, Schreber-Springmann *2, 1 ff.* und K. Schreber, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 20, 14; 1907.* Ich kann mich daher auf einige kurze Bemerkungen über die graphische Darstellung der Beobachtungen und über das Zahlenrechnen beschränken.

1. Graphische Darstellungen.

Sie liefern am raschesten eine Übersicht über den Zusammenhang gemeßner Größen. Man benutzt bei den Zeichnungen Millimeterpapier. (Es ist zu beachten, daß Blöcke billiger und bequemer sind als große Bogen.) Die Verwendung von logarithmischem und semilogarithmischem Papier ist bei Schülerübungen im allgemeinen ausgeschlossen. Man halte darauf, daß die Schüler mit spitzen harten Bleistiften arbeiten und die einzelnen Kurvenpunkte durch kleine Kreuze festlegen.

Bei der Zeichnung wähle man für gewöhnlich den Maßstab so groß, daß ein halbes Millimeter oder höchstens ein Millimeter eine Einheit der letzten Ziffer darstellt, die man vernünftigerweise noch beibehalten darf. Hat man z. B. eine Temperatur mit einem Thermometer gemessen, das in ganze Grade geteilt ist, so stellt man jeden Grad durch 0,5 oder höchstens 1 cm dar. Entspricht einer starken Ändrung der einen Größe eine nur schwache Ändrung der andern Größe, so darf man für die Größe, die sich rascher ändert, einen viel kleinern Maßstab wählen. Bei jeder graphischen Darstellung sind stets die Längenmaßstäbe für die Abszissen und Ordinaten und die Namen der abgetragenen Größen anzugeben. Sind a und b die kleinsten Werte der Größen x und y, die bei den Versuchen vorkommen, so wählt man nicht x und y, sondern ξ und η als Koordinaten, wo $\xi = x - a$ und $\eta = y - b$ ist.

Die Ausführung einer graphischen Darstellung bereitet selbst jungen Schülern keine Schwierigkeiten, und es gelingt ihnen sogar, namentlich wenn zwischen den Größen eine lineare Gleichung besteht, die ausgleichenden Kurven zu ziehen, und so die Beobachtungsfehler auszuschalten.

Die Umgestaltung des mathematischen Unterrichts, die sich jetzt vollzieht, bewirkt, daß sich auch bei uns die graphischen Darstellungen immer mehr einbürgern und vielfach in Aufsätzen und Lehrbüchern behandelt werden. Doch will ich nicht unterlassen, auf R. Mehmke, *Numerisches Rechnen, Enzyklopädie d. math. Wissenschaften I, 2, 940* hinzuweisen, ferner auf einen Aufsatz, den R. Maurer in den *Feierstunden 16, 373, 394, 404 u. 420; 1908* veröffentlicht hat, und auf einige englische Bücher, die in Deutschland kaum bekannt sind: George A. Gibson, *An Elementary Treatise on Graphs, London, Macmillan and Co., 1904.* Sir Oliver Lodge, *Easy Mathematics, London, Macmillan and Co., 1905.* Sidney Lupton, *Notes on Observations, London, Macmillan and Co., 1898.* John Perry, *Practical Mathematics, London, Eyre and Spottiswood, 1899.* Während des Druckes sind in Deutschland erschienen: O. Behrendsen und E. Götting, *Lehrbuch der Mathematik. A. Unterstufe. Leipzig, B. G. Teubner, 1909.* O. Lesser, *Lehr- und Übungsbuch für den Unterricht in der Mathematik und Algebra. 1. Teil. Leipzig, Freytag, 1909.* O. Lesser, *Graphische Darstellungen im Mathematikunterricht. Leipzig, Freytag, 1909.*

2. Zahlenrechnen.

Eine Berechnung der Versuchsergebnisse, die in allen Einzelheiten einer tiefer gehenden Prüfung standhält, ist weit schwieriger, als viele Physiker ahnen. Gut rechnen zumeist nur die Astronomen und ihre Berufsverwandten. Eine einwandfreie Berechnung setzt voraus, daß man sich über die Fehler der Zahlen, mit denen man rechnen soll, ein Urteil verschafft hat. In Verbindung damit steht die Forderung, daß die ganze Messung so eingerichtet sein soll, daß die Teilfehler, die die einzeln Messungen in dem Endergebnis hervorrufen, alle annähernd gleich sind. Diese ideale Forderung erfüllen aus Gründen, die jeder Kenner weiß, die Anleitungen, die in diesem Buch und anderswo gegeben sind, nur zum Teil. Bei den Schülerübungen ist es verfehlt, nach amerikanischem Vorbild grundsätzlich überall Fehlerbetrachtungen anzustellen; das entspricht weder den geistigen Bedürfnissen der Jugend, noch den Zwecken dieses Lehrverfahrens. Eine gründliche Erörterung der Fehler ist nur dann zweckmäßig, wenn in den Schülern selbst ein Bedürfnis entstanden ist, solche Fragen zu klären. Dieser Fall tritt z. B. stets ein, wenn die Frage zu entscheiden ist, wieviel Stellen der Zahl π bei einer Berechnung zu verwenden sind. Wenn auch in den Übungen nur zuweilen die Fehler der Geräte, des Verfahrens und der Beobachtungen eingehender untersucht werden können, so soll sich doch der Leiter nach Kräften bemühen, für jeden Versuch eine möglichst gründliche

Fehleruntersuchung durchzuführen; er wird dabei sicher vielfach vor Fragen gestellt, deren glückliche Lösung seinen Unterricht und nicht selten auch die Wissenschaft erheblich fördern kann. Eine sorgfältige Prüfung seiner Meßgeräte, wie Maßstäbe, Gewichtsätze, Thermometer, Widerstände usw. wird ihm bereits ganz grobe Fehlerquellen enthüllen und ihn sofort darüber aufklären, warum seine absoluten Messungen so dürftig und dabei seine relativen Messungen oft ganz befriedigend ausfallen. Eine nachträgliche Beseitigung systematischer Fehler durch Verbeßrungen usw. ist bei nur wenigen Übungen ausführbar und ratsam. Die Beobachtungsfehler soll man unter die Grenze hinabdrücken, bei der die systematischen Fehler beginnen. Man wird daher die Messungen so oft wiederholen lassen, als es die Zeit und die bei einer lebhaften Jugend immerhin geringe Geduld erlauben. Läßt man in gleicher Front arbeiten und gestattet der Versuch die Bildung eines Gesamtmittels, so kann man die Anzahl der Versuchswiederholungen stark herabsetzen. Hat das zu findende Gesetz die Gestalt $y = f(x)$ und sind x und y gemessen worden, so lasse man nicht nur $f(x)$, sondern auch $y - f(x)$ berechnen und aus diesen Unterschieden den Mittelwert bilden. Bei den Schülerübungen kommt es nicht darauf an, die möglichen besten Ergebnisse zu erzielen, sondern solche, die den Schülern die Gewißheit liefern, daß abgesehen von kleinen Abweichungen, die von den unvermeidlichen Fehlern herrühren, das gefundene Gesetz den Tatsachen gut angepaßt ist. Alle Versuche, die ohne hervorragende Geschicklichkeit oder übergroße Mühe zu einem solchen Ziel hinführen, sind für Übungen zulässig. Eine Genauigkeit von 1 v. H. befriedigt durchaus unsre Schüler, und sie ist auch in den meisten Fällen erreichbar. Ist der Fehler viel größer als 1 v. H., so ist es aus psychologischen Gründen ratsam, die Versuchsergebnisse nicht durch Rechnung, sondern durch graphische Darstellung auszuwerten.

Die Beobachtungen der Schüler sind zumeist gut; schlechte Ergebnisse haben vielfach ihre Ursache in hastigem und unordentlichem Aufschreiben der Messungsergebnisse, falschem Setzen des Kommas, flüchtigem Rechnen usw. Man muß zunächst den Schüler zum richtigen Schreiben der Zahlen erziehen. Man macht ihm den Begriff der geltenden Ziffern klar und weist ihn darauf hin, daß jede geschätzte Größe fehlerhaft ist, daß es keinen Sinn hat, rechts von der fehlerhaften Stelle noch Ziffern beizubehalten, daß diese wertlosen Ziffern vielmehr über die vorhandene Genauigkeit täuschen. 9,98 cm z. B. bedeutet, daß die 8 Zehntelmillimeter auf Schätzung beruhen. 10 cm ist physikalisch von 10,00 cm verschieden. In der erstern Zahl beruhen die Einer der Zentimeter und in der letztern die Hundertel der Zentimeter auf Schätzung; bei 10 cm ist der Fehler kleiner als 0,5 cm und bei 10,00 cm kleiner als 0,005 cm.

Beim Rechnen ist darauf zu achten, daß die Schüler richtig abrunden. Im Fall der zweifelhaften Abrundung, wenn also die abgestoßne Ziffer eine 5 ist, pflegt man an den Berliner Schulen die letzte Ziffer um Eins zu erhöhen. Dieses Verfahren ist zwar einfach, doch roh; feiner ist es, auf „gerade" abzurunden, d. h. für die Beträge

0,5 2,5 4,5 6,5 8,5

die Zahlen 0, 2, 4, 6, 8 und für die Beträge

1,5 3,5 5,5 7,5 9,5

die Zahlen 2, 4, 6, 8, 10 anzusetzen. Vgl. H. Bruns, *Gundlinien des wissenschaftl. Rechnens 28.*

Da die Genauigkeit der Messungen bei den Schülerübungen im Durchschnitt 1 v. H. ist, so wird man bei längern logarithmischen Rechnungen vierstellige Logarithmentafeln benutzen. Bedient man sich nicht der Logarithmentafel oder des Rechenschiebers, so sind bei den Rechnungen die abgekürzten Verfahren für ungenaue Zahlen anzuwenden (vgl. z. B. Harms-Kallius, *Rechenbuch § 34 u. 35*). Man muß dieses Rechenverfahren aber häufig benutzen; denn erlangen die Schüler darin nicht die erforderliche Übung, so erklären sie mit Recht, daß die gewöhnlichen Verfahren und nachträgliches Kürzen mit geringerm Aufwand von Zeit und Nachdenken zum Ziel führen. Das genäherte Rechnen ist übrigens, wenn man es mit allen Feinheiten ausführen will, schwieriger, als viele Theoretiker denken. Vgl. Lüroth, *Vorlesungen über numerisches Rechnen.* Biermann, *Vorlesungen über mathematische Näherungsmethoden.* R. Mehmke, *Numerisches Rechnen, Enzyklopädie d. math. Wissenschaften I, 2, 938.* Holman, *Discussion of the Precision of Measurements.* Holman, *Computation Rules and Logarithms.* Holman, *Physical Laboratory Notes.* Goodwin, *Physical Laboratory Experiments.* J. E. Mayer, *Das Rechnen in der Technik. Sammlung Göschen Nr. 405.*

D. Übungsberichte.

Als Übungsheft dient ein Quartheft mit weißem, oder besser, kariertem Papier. Oktavhefte sind nach den Erfahrungen, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium gemacht worden sind, zu klein. Verwebt man die Übungen mit dem Klassenunterricht, so ist die Einrichtung besondrer Übungshefte nicht ratsam; man läßt dann besser die Übungsberichte, die sogenannten „Protokolle", in das allgemeine Physikheft eintragen, doch soll auch hier der Schüler bei jeder neuen Aufgabe eine neue Seite anfangen. Auf dem Deckel des Hefts muß selbstverständlich der Name des Schülers und die Klasse stehen.

Der Bericht über die ausgeführten Versuche soll enthalten: 1. die gestellte Aufgabe, 2. das Datum und, falls in Gruppen gearbeitet wird, deren Nummer und den Namen des Führers, 3. die Nummer des Arbeitsplatzes, 4. die Nummern der benutzten Geräte, 5. eine knappe und klare Beschreibung des Versuchsverfahrens und

Versuchsverlaufs, 6. die Messungen, Rechnungen, Schlußfolgerungen und Ergebnisse in übersichtlicher und sachgemäßer Anordnung und 7. saubre schematische Zeichnungen der benutzten Geräte und ihrer Anordnungen.

Der Bericht muß die urschriftlichen Aufzeichnungen des Schülers enthalten und sofort nach jeder Beobachtung mit Bleistift, am besten dem Kopierstift „Castel“ von A. W. FABER, niedergeschrieben werden. Im Bericht darf nichts radiert werden; alle zu tilgenden Eintragungen sind durchzustreichen oder in Winkelklammern ⟨ ⟩ einzuschließen und die Versehen durch eine Randbemerkung zu erklären. Der ganze Bericht soll den Eindruck unbedingter Zuverlässigkeit machen. Auf ein deutliches Schreiben namentlich aller Zahlen und Einheiten ist großer Nachdruck zu legen. Alle Aufzeichnungen und Rechnungen müssen übersichtlich angeordnet und daher reichliche Zwischenräume für spätere Zusätze freigelassen werden. Alle Ergebnisse sind womöglich in Tafeln einzutragen und, wenn dies nicht zweckmäßig ist, in gutem Deutsch mit wenigen Worten, doch in ganzen Sätzen, klar und bestimmt aufzuschreiben.

Die Abfassung eines guten Berichts bereitet den Schülern große Schwierigkeiten. Man muß daher bei den ersten Übungen den Schülern etwas helfen. Auch empfiehlt es sich, die Schüler später dann und wann eine Übung aus dem Stegreif nur unter Benutzung ihrer eignen Berichte wiederholen zu lassen. Die hauptsächlichsten Mängel der Berichte sind: schlechte Ausdrucksweise, Verstöße gegen die Rechtschreibung und Zeichensetzung, schlechte Schrift, unübersichtliche Anordnung, unvollständige und dürftige Aufzeichnung der Beobachtungen, ungenaue und unordentliche Eintragungen der Meßergebnisse, Rechenfehler, falsche Schlüsse und irrige Feststellungen, Angabe von unwesentlichen Nebenerscheinungen, Wortschwall usw.

III. Geräteverzeichnis.

Diese Übersicht soll junge Lehrer, die Schülerübungen einrichten wollen, in den Stand setzen, mit dem geringsten Aufwand von Zeit, Geld und Arbeit eine brauchbare Ausrüstung zu beschaffen.

Die einzelnen Geräte sind in der Reihenfolge aufgeführt, wie sie nach der Anordnung der Versuche in diesem Buch zur Verwendung kommen. Jeder Gegenstand steht zwar nur an der Stelle, wo er zum erstenmal gebraucht wird, doch ist dort auf alle spätern Versuche hingewiesen, wo er wiederum benutzt wird. Man muß also, wenn man die Geräte zusammenstellen will, sagen wir für die Wärmelehre, nicht nur den Abschnitt VII des Verzeichnisses durchlesen, sondern auch nachsehen, ob nicht bereits einige Geräte dieses Gebiets, wie z. B. die Thermometer, in frühern Teilen dieser Übersicht erwähnt worden sind. Diesem kleinen Nachteil steht der große Vorteil gegenüber, daß man den ganzen Verwertungsbereich jedes einzelnen Geräts vollständig überblickt.

Bei der Anschaffung der Geräte für Schülerübungen in gleicher Front kann man zwei Wege einschlagen: die Anfügung oder die Einschaltung. Entweder kauft man sofort so viele Stücke eines Geräts, wie kleinste Arbeitsgruppen vorhanden sind, und fügt dann später nach und nach die Ausrüstungen für weitre Versuche hinzu, oder man erwirbt zunächst für zahlreiche Versuche eine nicht ausreichende Anzahl Geräte, mit denen man größere Schülergruppen arbeiten läßt, und vermehrt dann allmählich die Anzahl der Geräte, bis man die kleinsten Arbeitsgruppen bilden kann. Wo es darauf ankommt, daß alle Schüler mit genau übereinstimmenden Geräten, z. B. Gewichtsätzen, Widerstandspulen usw., arbeiten, ist eine Vermehrung durch Einschalten nicht ratsam; bei teurern Gegenständen hingegen wird man diesen Ausweg mit Vorteil einschlagen. Die größte Anzahl der Geräte, die für Übungen in gleicher Front notwendig ist, findet man, indem man die größte Anzahl der Schüler, die voraussichtlich gleichzeitig den Versuch machen sollen, durch die Anzahl der Schüler teilt, die mindestens zur Ausführung des Versuchs erforderlich ist. Will man bei geeigneten Übungen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwenden, so muß man auch den Einfluß untersuchen, den diese Arbeitsweise auf die Anzahl der erforderlichen Geräte hat.

Die Arbeit, die mit dem Anschaffen und Instandhalten der Geräte für Schülerübungen verbunden ist, wird meist bedeutend unterschätzt. Diese falsche Bewertung kann zu einer großen Geldvergeudung führen. Von den Leitern der Übungen ist unbedingt zu verlangen, daß sie jedes Gerät sofort nach der Lieferung genau untersuchen und seine Brauchbarkeit durch Versuche prüfen. Sie haben z. B. nachzusehen, ob bei den Klemmen die Schrauben lang genug sind und ihre untern Enden keine Spitzen haben, die die Drähte durchschneiden, ob die Spulen die vorgeschriebne Bewicklung, den richtigen Widerstand usw. haben. Die Anzahl der Geräte, die eine Schule anschaffen kann, ist mithin nicht bloß vom vorhandnen Geld, sondern auch von der Zeit abhängig, die der Leiter der Übungen auf die Prüfung und Instandsetzung der Geräte verwenden kann. Zuweilen wird auch übersehen, daß der Mechaniker zur Anfertigung der Geräte Zeit gebraucht. Da der Leiter solche Dinge, die noch gar nicht vorhanden sind, auch nicht kaufen kann, so sind Anweisungen, sofort oder binnen wenigen Wochen Geräte für Übungen anzuschaffen, manchmal unausführbar. Überstürzungen führen fast stets zu einem hastigen und übereilten Ankauf von Apparaten, die für die Übungen nicht zu gebrauchen sind, also zu einer Vergeudung der vorhandnen, viel zu spärlichen Mittel. Das Geld, das zur Anschaffung von Geräten bewilligt wird, muß zu der Zeit, die für ihre Herstellung und Prüfung nötig ist, in richtigem Verhältnis stehen. Daher wäre es dringend erwünscht, wenn die Mittel, die für Schülerübungen angewiesen werden, auf irgend eine Weise von einem Rechnungsjahr auf das andre übertragbar gemacht würden. Will man für das wenigste Geld die beste Einrichtung für Schülerübungen erwerben, so muß man die Ausrüstung im Laufe mehrerer Jahre allmählich beschaffen.

Die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse und das Dorotheenstädtische Realgymnasium beziehen Zeichenausrüstungen von Gebr. Wichmann, Berlin, NW. 6, Karlstr. 13, Chemikalien und Drogen von R. Schering, Berlin N., Chausseestr. 19, chemische Geräte u. dgl. von Dr. Hermann Rohrbeck, vorm. J. F. Luhme & Co., Berlin NW., Karlstr. 20a und physikalische Geräte, soweit in diesem Buche nicht andre Bezugsquellen genannt sind, von F. A. Hintze, Berlin N., Metzer Str. 29, der auch vollständige Ausrüstungen für physikalische Schülerübungen liefert, und dessen Preise in dem nachfolgenden Verzeichnis angegeben sind. Für die Alte Urania hat Otto Dammann, Berlin N., Gerichtstr. 72, die Arbeitstische, Schränke, Wandbretter und Galgen angefertigt.

Will der Leiter seine Ausrüstung für Schülerübungen vollkommen beherrschen, so muß er bei der Bestellung der Geräte vom Verfertiger verlangen, daß dieser die einzelnen Geräte mit Nummern versieht, und außerdem alle Konstanten, wie Widerstand, größte zulässige Belastung, Windungszahlen usw., dauerhaft darauf verzeichnet.

Die physikalischen Schülerübungen haben ihre Gegner. Und viele wären ihre Feinde, wenn sie eine Ahnung vom Vorhandensein der Übungen hätten. Sicher wird bald die Anzahl der Widersacher noch wachsen. Es könnte nun einer der Gegner darauf verfallen, die große Kostspieligkeit der Übungen dadurch zu begründen, daß er die Preise aller Geräte zusammenzählt, die in diesem Verzeichnis enthalten sind. Die Vorsicht gebietet, von vornherein einem solchen Mißbrauch dieser Übersicht entgegenzutreten. Das Verzeichnis enthält die Ausrüstung einer Anstalt zur Ausbildung von Übungsleitern, und diese ist, da sie zahlreiche Abarten der Geräte und Versuche bietet, selbstverständlich viel umfangreicher als die Ausstattung einer höhern Schule. Eine ehrliche und sorgfältige Prüfung dieses Buches wird vielmehr jedem Sachverständigen zeigen, daß es einem geschickten Übungsleiter möglich ist, für überraschend wenig Geld eine recht leistungsfähige Ausrüstung zu beschaffen.

Bei der Benutzung dieses Verzeichnisses ist zu beachten, daß darin z. B. „kurzer Robisonscher Magnet (S. 306). IX 1_2. (*2 M.*)“ heißt: Der auf S. 306 beschriebne kurze Robisonsche Magnet wird im 9. Teil beim 2. Verfahren der 1. Aufgabe benutzt und kostet 2 M.

Werkzeuge und Zeichengeräte.

Ausrüstung des Werkzeugbrettes:

1. Vierkantiger Vorstecher. II A 7, 8_2, 9, 10. (*0,70 M.*)

2. Runder Vorstecher. II A 25, 27_1. (*0,40 M.*)

3. Rundfeile. VII 2, 8. (*0,50 M.*)

4. Dreikantfeile. I 12, 14. VI 5. VII 8. (*1,10 M.*)

5. Flachzange. II A 4. IV 2. VI 3—5. (*1 M.*)

6. Rundzange. II A 4. IV 2. VI 3—5. (*1 M.*)

7. Beißzange. I 12, 21. II A 4. II B 7_2, 9. III 5. IV 2. V 9, 10, 15. VI 3, 4, 5. VII 1, 14. X 8. (*2,25 M.*)

8. Tiegelzange. X 2, 3, 9—11, 51. (*0,90 M.*)

9. Stahlwinkel. I 20. II A 13, 29. III 1, 2. VIII 24. (*2,75 M.*)

10. Schere. I 2—4, 6, 18_2, 19, 20. II A 3, 7, 8—10, 12, 15, 29, 31. II B 1_1, 1_3, 2, 4—6, 8. III 1—8. IV 1, 2. V 8, 14. VI 2—5. VII 3—5. VIII 15, 18, 19, 21—23, 25. IX 6, 7_1, 8. X 47. (*1,75 M.*)

11. Hammer. II A 4, 7, 11, 35—38. II B 9. (*1,10 M.*)

Empfehlenswerte Ergänzungen:

Schraubenzieher (*0,75 M.*) und Kneifzange (*1,30 M.*).

12. Vollständige Zeichenausrüstung (S. 60). II A 8—10. 13—15. 20—26_1. 27_1. VIII 1—8, 15.

Von den einzelnen Teilen werden allein benutzt: Reißbrett. II B 3_1, 3_2. X 41. — Reißschiene II B 3_1, 3_2. IV 1. — Zeichendreiecke I 1, 4. II A 12. II B 1_1, 3—6. VIII 16. IX 2, 7_2, 9_2. — Winkelmesser II A 15, 19. — Zeichenbogen II B 3_1. IX 2—5, 7_2, 8. — Reißnägel I 2. II B 1_1, 2, 3, 6. VIII 16. — Bleistift I 2, 4, 6, 7, 18_1. II A 28, 29, 35—39. II B 3_1. IX 2, 3, 5, 7_2, 8. — Zirkel I 19. — Millimetermaßstab I 18_2, 19, 20. II A 4, 29, 34. VIII 3_3, 4, 15—17.

Chemikalien und Drogen.

13. Alkohol. III 8. VII 15_2. X 2—4, 8—11.
14. Ammoniak. X 1—4, 8.
15. Ammoniumchlorid. III 8.
16. Anilin. X 15—19_1.
17. Bärlappsamen. II B 1_4. VI 7.
18. Benzin. III 8.
19. Chromtrioxyd. X 3.
20. Cuprisulfat. I 15_1, 15_2. III 2, 7, 8. IV 2. X 3, 4, 8—11.
21. Ferroammoniumsulfat. X 19_2.
22. Ferrochlorid. X 19_2.
23. Ferrosulfat. X 19_2.
24. Glyzerin. III 8. VII 10.
25. n-Kalilauge. X 1.
26. Kaliumdichromat. X 3, 12—14.
27. Kaliumferrocyanid. X 8.
28. Kaliumjodid. X 8.
29. Kaliumnitrat. III 8.
30. Kochsalz. I 15. III 2, 8. IV 2. VII 7, 8. VIII 21. X 8.
31. Lithiumchlorid. VIII 21.
32. Lackmuspapier. X 1.
33. Naphthalin. VII 15.
34. Natriumbikarbonat. VIII 21.
35. Natriumnitrat. VIII 25.
36. Natriumsulfat. X 8, 12—14.
37. 2 n-Natronlauge. X 12—14.
38. Paraffin. III 6. IX 4.
39. Paraffinöl. III 1.
40. Petroleum. III 1, 8. X 15—19_1.
41. Phenolphtalein. X 8.
42. Quecksilber. III 1. VII 10. X 1. Vgl. X.
43. Rizinusöl. IV 2.
44. Konz. Salpetersäure. X 10.
45. Reine Schwefelsäure. X 1—4, 8, 9.
46. Denaturierter Spiritus. I 15.
47. Stärke. X 8.
48. Terpentinöl. III 1,8. VII 10. X 15—19_1.
49. Thallosulfat. VIII 21.
50. Toluol. X 15—19_1.
51. Destilliertes Wasser. I 15_2, 17. VII 6. X 15—19_1.
52. Xylol. X 15—19_1.
53. Chem. reines Zink. X 1.

I. Maß und Messen.

54. Paraffinierter Holzklotz (S. 3). I 1, 10. (*0,30 M.*)

55. 2 Meterstäbe (S. 3). I 1, 3—5, 7, 8, 12, 21. II A 1_1, 5, 13, 15, 19, 23—27_1, 30, 31, 33, 35—39. II B 1, 3—8, 11—14. III 5. IV 1. V 1—6,

10, 15. VI 2, 4, 6, 7. VII 1, 3. VIII 14, 25. IX 2, 7—9. X 31—34, 40, 42, 44, 46, 51. (1 Stück *3,50 M.*)

56. Stecknadeln. I 1,3. II A 8_1, 28. VIII 1—6, 12, 13, 23. IX 7_2. X 41. (100 Stück *0,30 M.*)

57. Rechenstab (S. 6). I 2.

58. Millimeterpapier. I 2, 6, 7, 18_1. II A 1, 3—6, 10, 15—19, 24, 26, 27_1, 35—39. II B 1_2—3, 6, 13. V 7, 13. VII 2, 15_2, 16. VIII 3, 5, 6_1, 9, 11. IX 1. X 3, 4, 7, 20, 23, 27, 31—34, 44, 46, 49—51. (Block *0,75 M.*)

59. Metallzylinder (S. 7). I 3, 4, 9. III 3. (*1,25 M.*)

60. Dünnes Papier. I 3_1.

61. Garn (weißes u. schwarzes). I 3_2. II A 8—11, 15, 30, 35—39. II B 4—6, 8. IV 1. V 8. VII 6, 15. VIII 14.

62. Kupferdraht, sehr dünn. I 3_2. II B 9.

63. Kupferdraht von 0,8 mm Durchmesser. I 12, 15_2, 21. III 5. IV 2. VII 1.

64. Kupferdraht von 1,6 mm Durchmesser. I 6. II A 30. VII 1, 14.

65. Harter Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser. V 9. X 37.

66. Unterlegklötze (S. 143). I 3_3, 5. II A 7, 15, 23, 24. II B 1, 3_2, 6, 8. III 3—8. V 8, 11, 12. VIII 17_2—19, 22.

67. Karton. I 4. II B 1_1, 1_3, 6. VIII 16, 18. IX 6, 7_1, 8.

68. Dünner Karton. I 18_2, 19.

69. Schublehre. I 4, 5, 7, 13. II B 1_1, 1_2, 1_3, 3_1, 4—6, 7_2, 14. III 3. V 10. VI 7. VIII 14. IX 7_1, 9. X 44, 46. (*5,75 M.*)

70. Linse von kurzer Brennweite. I 4, 5. II A 6. Vgl. VIII. (*0,50 M.*)

71. 2 Fadenzähler. I 4, 5. II A 6. VIII 14, 17_2, 22. (1 Stück *0,75 M.*)

72. Kugel aus Buchsbaumholz (S. 13). I 5, 10. (*1,20 M.*)

73. Glasröhren (6 bis 8 mm dick). I 6, 8. II A 34. IV 2. VII 8, 18. IX 6, 7_1, 8.

74. Glasscheiben. I 6. X 8.

75. Kleine Lagerkugeln. I 6. II A 13, 26_3, 27_2.

76. Schrot. I 6. II A 3, 8_2, 9, 11, 32. V 12. VII 2, 13, 19. (1 kg *1,20 M.*)

77. Holzzylinder (S. 16). I 7. (*1 M.*)

78. Ziehfeder. I 7.

79. Tusche. I 7. VIII 16.

80. 2 Bunsengestelle nebst Zubehör. I 7. II A 1_1, 2, 3, 8_1, 12, 15, 31, 34. II B 1_1, 3_1, 4—6, 7_2, 8. III 1—3, 8. IV 1, 2. V 1—6, 8, 15. VI 1, 6_1. VII 6, 11, 15, 18. VIII 16_2, 17, 20, 23, 25. X 19_2. (1 Stück *14,50 M.*)

81. Schraube und Mutter (S. 17). I 7. (*1,25 M.*)

82. Klebwachs. I 7. II A 3, 30. II B 1_1, 9. III 1, 2. V 8, 13. VI 1. VIII 14—16. IX 2, 3, 5, 7_2, 8. X 42.

83. Fischleim. I 7.

84. Mikrometerschraubenlehre. I 8, 20, 21. II A 4—6. III 5. V 5. IX 9_2. X 20, 33, 34, 38, 51. (*8 M.*)

85. Messingdraht von 1 mm Durchmesser. I 8. VIII 15.

86. Wage (S. 21). I 9—17, 18_2—21. II A 11, 32. II B 1_2, 7_2, 9, 10, 14. III 3—8. V 4—6, 8, 10, 12, 13, 15. VI 5, 7. VII 10, 12—14, 17, 18. IX 9. X 2, 4, 9—11, 15—19.

87. Gewichtsatz (S. 22). I 9—17, 18_2—21. II A 1, 8, 11, 12, 15, 31, 32, 34. II B 1_2, 7, 9, 10, 14. III 3—8. V 1—8, 10, 12—15. VI 5, 7. VII 10, 13, 14, 17, 18. IX 9. X 2, 4, 9—11. 15—19.

88. Tarierschrot. I 13, 14, 15, 17. III 5, 6. X 4.

89. Tarierbecher. I 13—15. 17. III 5, 6. (1 Stück *1 M.*)

90. Brücke zur Wage (S. 179). III 3—8. (*1,30 M.*)

91. Zylinder aus Messingblech mit aufgeschliffner Glasplatte (S. 24). I 13. (*3 M.*)

92. 2 Bechergläser (600 cm³). I 13, 14, 15_2, 16, 17. II A 23, 24. II B_1. III 3—8. IV 2. V 6, 12. VII 4, 8—14, 15_2, 16, 17. X 9—11, 15—19.

93. Becherglas (250 cm³). VII 12 bis 15_1, 18. X 12—14.

94. 2 Bechergläser (50 cm³). I 15_1. II A 32. X 8.

95. Pipette (50 cm³, S. 25). I 13, 14, 15_2, 17. III 2—8. VII 2, 4, 12—14, 18. (*0,60 M.*)

96. 2 Thermometer (S. 231). I 13, 15. III 1—3, 8. IV 2. VI 1, 7. VII 2, 4—7, 9, 10, 12—19. X 15—19, 39.

97. Pinsel. I 13, 14, 15_2. II A 1. II B 2, 7_2. V 1—4, 9—12. 15.

98. Fließpapier. I 13—15. VII 10, 15_2, 17. X 1.

99. Enghalsige Flasche (100 cm³), I 14. (50 cm³) I 15_2. (Stück *0,10 M.*)

100. Ablesespiegel. I 14—16. II A 1, 8_2—12, 20, 21, 25, 27_1. IV 1. V 3. VII 6, 8, 12—14, 17. IX 1. X 12—14. (*0,20 M.*)

101. Meßzylinder (250 cm³). I 14. V 6. X 15—19. (*1,75 M.*)

102. 2 Trichter. I 14—16. III 1, 2. VII 4,11. X 2, 12—14. (Stück *0,25 M.*)
103. Bürette (50 cm^3, geteilt in 0,1 cm^3). I 15_1, 16. (*3 M.*)
104. Ableseklemme (S. 28). I 15_1, 16. (*1,20 M.*)
105. Dichtefläschchen (50 cm^3). I 15_2, 17. VII 10. (*0,65 M.*)
106. Kieselsteine. I 16.
107. Klebpapier. I 16. III 2. V 6. VI 6_1. VIII 16, 21. IX 2, 3, 5, 7_2, 8. X 42, 47.
108. Glasschrot. I 17. (1 kg *2 M.*)
109. Pauspapier. I 18_2.
110. Nähnadeln. I 18_2.
111. Stanniol. I 20. II A 3, 32. VII 3—5. VIII 23. (1 kg *6 M.*)

II A. Gleichgewicht der festen Körper.

112. Spiralfeder aus Stahldraht (S. 38). II A 1_1. V 1—4, 15. (*1,75 M.*)
113. Spiralfeder aus Stahldraht nach Guillaume (S. 36). II A 1_2. (*1 M.*)
114. Spiralfeder aus Messingdraht (S. 191). II A. V 3. (*1,25 M.*)
115. Korke. II A 1_1, 11. VI 7. VII 2, 4, 8, 15. VIII 17_2. IX 1, 4, 6—8. X 8.
116. Große Korke (Spunde). VII 8, 12—14, 17, 18.
117. Spiegelmaßstab (S. 38). II A 1_1. III 1, 2. IV 2. V 3, 8. (*4 M.*)
118. Leichte Wagschale. II A 1_1, 1_2, 8_1, 11, 34. V 1—5, 8, 15. (*0,75 M.*)
119. 2 Wagschalen von 10 cm Durchmesser. II A 8_2. II B 7_1. (Stück *1 M.*)
120. Holzstab (S. 37). II A 1_2. (*0,50 M.*)
121. Holzstab (S. 68). II A 13. (*0,50 M.*)
122. Holzstab (S. 86). II A 21. (*0,75 M.*)
123. Holzstab (S. 88). II A 22, 26_1. (*2,25 M.*)
124. Holzstab (S. 106). II A 27_1. (*0,50 M.*)
125. Holzstab (S. 118). II A 34. (*0,30 M.*)
126. Lot. II A 1_2, 10, 15, 19, 28 bis 30. II B 3_1, 6. III 1, 2. IV 1, 2. V 6. VI 6_1. (*0,20 M.*)
127. Federwagen nebst Schlitten (S. 40). 3 Stück bis 4 kg*. II A 7, 8_3, 9, 10, 12, 21, 25, 26_3. — 3 Stück bis 5 kg*. II A 21, 31. — 4 Stück bis 10 kg*. II A 2, 3, 14, 26_2, 27_2. (Das Stück *3,50 M*, *3,75 M*, *3,25 M.* Schlitten *1,50 M.*)
128. 2 runde Federwagen bis 20 kg* (S. 89). II A 22, 26_1. (Das Stück nebst Schale *16,50 M.*)
129. Druckfederwage. II A 7. (*10 M.*)
130. Ringgewichte (S. 41). 4 Stück zu 1 kg*. II A 2, 7, 8_2, 9, 20, 21, 24, 25_3, 27_1, 33. X 44. — 2 Stück zu 2 kg*. II A 2, 9, 10, 13, 20, 21, 23, 24, 27_1, 31. — 5 kg*. II A 2, 7, 10, 12, 22, 23, 26_1, 31, 35—39. — 10 kg*. II A 14, 22, 26_1, 31, 33, 35—39. — 20 kg*. II A 35—39.
131. Stabgewichte (S. 41). 2 Stück zu 1 kg*. II A 3—6, 16—19, 31, 35 bis 39. II B 10. — 4 Stück zu 2 kg*. II A 3—6, 15—19, 31, 35—39. — 2 Stück zu 5 kg*. II A 3, 4, 6, 15 bis 19, 31, 35—39. — 2 Stück zu 10 kg*. II A 4, 6, 15—19, 31, 35—39. — 2 Stück zu 20 kg*. II A 4, 15, 39. V 8.
132. Scheibengewichte (S. 41). II A 3—5, 7, 8_2, 16—20, 25_3, 27_1, 31, 35 bis 39. II B 10. V 13. (Satz in Kasten *5 M.*)
133. Dünnes Messingblech. II A 2, 3. VIII 23.
134. Mittlere Wageschale von 20 cm Durchmesser (S. 124). II A 3, 5, 15 bis 19, 31, 35—39. (*3 M.*)
135. Große Wageschale von 36 cm Durchmesser. II A 4, 6. (*4,50 M.*)
136. Bleifolie (Tapeziererblei). II A 3, 32. VII 14.
137. Zwinge mit Haken. II A 3, 22, 26_1, 33. (*1,50 M.*)
138. Schreibpapier. II A 3, 13, 24, 25_2, 27_1, 30. II B 2. III 1, 2. IV 2. VI 2—5. IX 4. X 41, 42.
139. Tafelwage. II A 3, 4. (*12 M.*)
140. Tiefenlehre mit Ansatz (S. 47). II A 4, 6. (*8 M.*)
141. Verzinkter Eisendraht von 1 mm Durchmesser. II A 4, 6.
142. 2 Bügel für Galgen. II A 4, 35—38. II B 7_1. (1 Stück *1,25 M.*)
143. 2 Holzkeile. II A 4, 35—38. II B 7_1, 9. (1 Stück 0,50 *M.*)
144. Kasten mit Sägemehl. II A 4.
145. Schnittbrenner (S. 279). II A 4. VII 8. VIII 11—14, 18—20, 22. (*1 M.*)
146. Gasschlauch (1,50 m lang). II A 4. VI 6_1, 7. VII 1—3, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18. VIII 11—14, 18—22, 25. IX 4. X 3, 4, 8, 51. (Das Meter *1,80 M.*)

147. Kautschukstab. II A 5.

148. Lange Stopfnadeln. II A 5.

149. Bandmaß. II A 6. (10 m lang *5 M.*)

150. 4 Rollen (S. 53). II A 7, 8_2, 12, 20, 25_3, 27_1. (1 Stück aus Aluminium *6,50 M.*, aus Holz *2 M.*)

151. Kleine Rolle (S. 65). II A 11. (*1,25 M.*)

152. Universalrolle (S. 53). II A 15 bis 19, 22, 26_1, 39. (*18 M.*)

153. Messingring von 0,5 cm Durchmesser. II A 7, 8_2—10.

154. Kleine Haken. II A 7, 34. V 8, 14. (6 Stück *1 M.*)

155. Große Haken. II A 22, 26_1. (6 Stück *2,25 M.*)

156. Drahtstifte. II A 7, 11, 25. X 52.

157. Angelschnur (S. 71). II A 7, 8_3—10, 14—21, 25, 26, 39. II B 7_1, 11—14.

158. Bindfaden. II A 7, 9, 10, 12, 16, 22—24, 26_1, 31, 34_1. II B 9. V 14. X 44, 47.

159. Kautschukschnur (S. 54). II A 8_1, 29, 34.

160. Seidenschnüre. II A 8_2, 16—19, 25_3.

161. Talg. II A 8_2, 9, 10.

162. Kleine Metallzwingen. II A 8_3, 26_2, 26_3, 27_2.

163. Hakenschrauben. II A 9, 10, 13, 21.

164. Zwirn. II A 13.

165. Dachstuhlmodell (S. 71). II A 14. (*6 M.*)

166. Schiefe Ebene (S. 76). II A 15—19. (*10 M.*)

167. Wagen (S. 76). II A 15. (*5,50 M.*)

168. Eisendraht von 5 mm Durchmesser. II A 15.

169. Eisendraht von 0,8 mm Durchmesser. VII 1. X 8.

170. Reibungsschlitten (S. 79). II A 16—19. (*2,75 M.*)

171. Schmirgelpapier. II A 16—19, 34. X 2—53. (Buch *1,50 M.*)

172. Wasserwage. II A 16—19, 22, 26_1. II B 1_1. III 1, 2. IX 1. X 44. (*5,25 M.*)

173. Pappe. II A 20, 25_3, 28—30. VII 18. VIII 20. X 41.

174. Hebel mit fester Achse (S. 93). II A 23, 24, 31. (*10 M.*)

175. Hebel mit verschiebbarer Achse (S. 115). II A 31, 33. (*7,50 M.*)

176. Schmieröl. II A 23, 24, 35—39.

177. Glasperlen. II A 25_1.

178. Halls Scheibe (S. 106). II A 26_3, 27_2. (*6,50 M.*)

179. Holzstäbchen. II A 30.

180. Baurolle (S. 124). II A 35. (*3,50 M.*)

181. Seil von 0,75 cm Durchmesser. II A 35, 36.

182. 2 feste Rollen (S. 127). II A 36. II B 7_1. (Stück *3 M.*)

183. Bewegliche Rolle (S. 127). II A 36. (*4 M.*).

184. Dreirolliger Flaschenzug (S. 128). II A 37. (*18 M.*)

185. Weston-Differentialflaschenzug (S. 129). II A 38. (*18 M.*)

186. Schraubenwinde (S. 131). II A 39. (*28 M.*)

II B. Bewegung der festen Körper.

187. 3 Fallrinnen (S. 142). II B 1_1, 1_2, 1_3, 3_1. (*12 M.*)

188. Langer Holzkeil (S. 143). II B 1, 3. (*1,20 M.*)

189. 2 Lagerkugeln von 5 cm Durchmesser. II B 1_{2-3}. (*6,40 M.*)

190. Lagerkugel von 3,8 cm Durchmesser. II B 1_4. (*1,75 M.*)

191. Lagerkugel von 1,25 bis 2 cm Durchmesser. II B 3_1. (*0,50 M.*)

192. Lagerkugel von 2,5 cm Durchmesser. II B 3_2. (*1 M.*)

193. 2 Auslöser (S. 143). II B 1_{1-3}, 3_1. (Das Stück *2,50 M.*)

194. Zielbügel (S. 143). II B 1_1. (Das Stück *1,50 M.*)

195. Kohlepapier (S. 151). II B 1_1, 2, 3_2.

196. Quecksilberbrett (S. 176). II B 1_1, III 1. IV 1. VII 10. X 1—19_1, 20—47, 49—51. (*8 M.*)

197. Watte. II B 1_1, 1_4, 2, 3_1. VI 1. VII 14. X 2, 3.

198. Mariottesche Flasche (S. 143). II B 1_2.

199. Stechuhr. II B 1_2, 1_4, 2, 4—7, 11—14. V 1—8, 13, 15. VI 1. IX 6 bis 9. X 9—19, 44—46. (Ohne Etui *20 M.*, mit *21 M.*)

200. Metronom. II B 1_3, 4—6, 7_2. V 7. VI 1. (*10,50 M.*)

201. Duffs Fallrinne (S. 144). II B 1_4. (*10 M.*)

202. Wischtuch. II B 1_4. VII 14. X 2, 3.
203. Whitings Pendel (S. 147). II B 2. (*17 M.*)
204. Seidengarn. II B 2. III 3—8.
205. Federn. II B 2, 7_2. V 1—4, 9—12, 15.
206. Packards Fallrinne (S. 151). II B 3_2. (*2,75 M.*)
207. 2 Pendelaufhängungen. II B 4—6, 8. (Stück *0,35 M.*)
208. 2 Bleikugeln von 2 cm Durchmesser mit Öse. II B 4—6, 8. (Stück *0,25 M.*)
209. Kreide. II B 4—6. V 7.
210. Holzkugel von 2 cm Durchmesser mit Öse. II B 5. (*0,40 M.*)
211. Drillring (S. 158). II B 7_2. V 10. (*10 M.*)
212. Sehrohr (S. 158). II B 7_2. (*0,50 M.*)
213. Federharter Messingdraht oder Konstantandraht von 0,25 mm Durchmesser. II B 7_2. V 9, 10.
214. Schraubzwinge mit Feilkloben. II B 7_2. V 7, 8, 10, 14. VI 7. (*3 M.*)
215. Stelltisch. II B 7_2.
216. 2 Elfenbeinkugeln (50 gr u. 150 bis 200 gr) mit Öse. II B 9. (~ *12 M.*)
217. Glaserkitt. II B 9.
218. Holzzwinge. II B 9. X 44. (*1 M.*)
219. Aufhängebrett für Stoßversuche (S. 162). II B 9. (*3 M.*)
220. Grundbrett für Stoßversuche (S. 162). II B 9. (*10 M.*)
221. Hakenstifte. II B 9.
222. Stoßwage (S. 164). II B 10. (*19 M.*)
223. Bleistück (750 gr). II B 10. (*1,20 M.*)
224. Schwungrad (S. 167). II B 11 bis 14. (*12 M.*)

III. Eigenschaften der Flüssigkeiten.

225. U-Röhre (S. 176). III 1, 2. (*1,20 M.*)
226. Quecksilberzange. III 1, 2. X 1—19_1, 20—47, 49—51. (*2,25 M.*)
227. Kamelhaarpinsel. III 3—8. VII 10.
228. Großer Glasstopfen. III 4, 8.
229. Bleikugel mit Haken. III 6. (*0,20 M.*)

IV. Eigenschaften der Gase.

230. Meldes Kapillar-Barometer (S. 186). IV 1. (*3 M.*, offenes Rohr allein *0,70 M.*)
231. Sehr dünner Stahldraht. IV 1.
232. Barometer. IV 1. VII 8, 14. X 12—14.
233. Dreiwege-Stück (S. 188). IV 2. (*1 M.*)
234. Kautschukschlauch (50 cm lang). IV 2. VII 18.
235. 4 kurze Kautschukschläuche. IV 2. VII 6.
236. Kristallisationsschale. IV 2. VII 10. (*0,30 M.*)
237. 3 Federklemmen (S. 176.) IV 2. (Stück *0,60 M.*)
238. Schraubenquetschhahn. IV 2. (*0,75 M.*)
239. 2 Glasröhren von 8 bis 10 mm lichter Weite, 1 m lang. IV 2.

V. Schwingungen und Wellenbewegungen.

240. Bleistück von 50 gr. V 4. (*0,25 M.*)
241. Kautschukschnur (S. 193). V 5.
242. U-Röhre (S. 195). V 6. (*2,25 M.*)
243. Quetschhahn. V 6. VII 6. (*0,35 M.*)
244. Holzstab (S. 198). V 7. (*0,60 M.*)
245. Stahlstreifen (S. 196). V 7. (*0,40 M.*)
246. Stahlstreifen (S. 198). V 8. (*0,80 M.*)
247. Stahlstreifen (S. 208). V 14. (*0,50 M.*)
248. Stricknadeln. V 7. VIII 21. X 8, 47, 51.
249. Noacks Diopter. V 8. (*0,80 M.*)
250. Geschlitzte Metallscheiben. V 8.
251. Schemel. V 8.
252. Drillscheibe nebst Klemme (S. 202). V 9, 10. (*5,50 M.*)
253. Messingstab (S. 204). V 10. (*1,50 M.*)
254. Drillstab nebst Bleireiter und Zinkzylinder (S. 206). V 11, 12. (*15 M.*)
255. Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser. V 11, 12.

256. Stahlstab (S. 208). V 13. (*1,25 M.*)

257. Messingscheibe (500 gr). V 13.

258. 2 Volkmannsche Klemmen. V 15. X 8. (Vgl. Gleitwiderstand, S. 337.)

VI. Schall.

259. Schreibvorrichtung (S. 213). VI 1. (*9,50 M.*)

260. Glasplatten (S. 211). VI 1. (Stück *0,15 M.*)

261. Berußungslampe (S. 213). VI 1. VII 4, 5. (*0,75 M.*)

262. c_1-Stimmgabel (S. 214). VI 1—6. (*9,50 M.*)

263. d_1-Stimmgabel. VI 2, 3, 6. (*9,50 M.*)

264. Anschlaghammer (S. 214). VI 1—6. (*0,75 M.*)

265. Monochord nebst Zubehör (S. 215). VI 2—5. (*12 M.*)

266. Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. VI 3—5. (100 gr *3 M.*)

267. Mittönende Röhre (S. 221). VI 6_1. (*3 M.*)

268. Großer Trichter mit Schlauchansatz. VI 6_1. VII 6. (*1 M.*)

269. Kautschukringe. VI 6_1. VII 15_1. VIII 17_2.

270. Porzellantopf. VI 6_1.

271. Porzellanschale. VI 6_1. VII 7.

272. Kundtsche Röhre nebst Zubehör (S. 224). VI 6_2, 7. (*4 M.*)

273. Bunsenbrenner. VI 7. VII 1—3, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18. (*1,50 M.*)

274. Sandpapier. VI 7.

275. Wollener Lappen. VI 7.

VII. Wärme.

276. Batterieglas. VII 2, 6. (*0,50 M.*)

277. Weißblechzylinder (S. 226). VII 2. (*0,50 M.*)

278. Durchlochte Holzplatte (S. 228). VII 2, 5. (*0,75 M.*)

279. Korkbohrer. VII 2, 8. (Satz *3,50 M.*)

280. Großes Probierglas (S. 228). VII 3, 14, 15_2, 16.

281. 5 mittlere Probiergläser (S. 354). X 1, 8.

282. Enges Probierglas. VII 7. VIII 21.

283. 2 weithalsige Glasfläschchen (60 cm³). VII 4. (Stück *0,15 M.*)

284. Gummi arabicum. VII 4, 5. VIII 18.

285. 3 Bechergläser (500 cm³). VII 5.

286. Sack aus Segeltuch. VII 6.

287. Holzhammer. VII 6. (*0,60 M.*)

288. Suberitring. VII 7.

289. 2 Suberitscheiben. VII 12—14, 17, 18.

290. Holzlöffel. VII 7. (*0,25 M.*)

291. Kochflasche (500 cm³). VII 8, 18. (*0,35 M.*)

292. Doppelt durchbohrter Kautschukstopfen. VII 8, 15. (*0,75 M.*)

293. Dreifuß. VII 8, 10, 14, 15, 17. IX 4. X 39. (*1 M.*)

294. Drahtnetz mit Asbesteinlage. VII 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18. (*0,50 M.*)

295. Glasstab. VII 9, 15_1. X 3. (*0,15 M.*)

296. Kleiner Dreifuß aus Glas. VII 10. (*0,60 M.*)

297. Abdampfschale. VII 10, 15_2. (*0,25 M.*)

298. Dickwandiges Haarröhrchen (S. 237). VII 11. (*1 M.*)

299. 2 Thermometer, in Zehntelgrade geteilt. VII 12—14, 17—19. X 15—19, 39. (Stück *7,75 M.*)

300. Blechkanne. VII 12—14, 18, 19. (*3 M.*)

301. Zylinder aus Schablonenblech (S. 242). VII 14. (*1,25 M.*)

302. Kupferdrahtnetz. VII 14.

303. Kleine eiserne Nägel. VII 14.

304. Glasröhren (innerer Durchmesser 5 mm). VII 15_1.

305. Rührer aus Nickeldraht. VII 15_2. (*0,15 M.*)

306. Wassersack (S. 251). VII 18. (*0,50 M.*)

307. Schutzschirm (S. 251). VII 18. (*1 M.*)

308. Teclu-Brenner. VII 18. (*4 M.*)

309. Whitingsche Röhre. VII 19. (*2,25 M.*)

VIII. Licht.

310. Ebener Spiegel (S. 256). VIII 1, 2. (*1 M.*)

311. Planparallele Glasplatte (S. 263). VIII 3_1, 3_2, 5, 6. (*1,25 M.*)

312. Sehr dünne Insektennadeln. VIII 3_1. (100 Stück *0,30 M.*)
313. Putzleder. VIII 3—22, 24.
314. 2 Prismen (S. 270). VIII 3_3, 4, 7, 8, 18, 19, 21, 22. (*2,10* bis *5,40 M.*)
315. Kugelspiegel (S. 274). VIII 9, 10. (*2,10 M.*)
316. 2 Nadeln in Holzklötzen (S. 274). VIII 9—14, 16_1, 17_1, 20. (*0,40 M.*)
317. Millimetermaßstab mit abgeschrägtem Nullende (S. 273). VIII 9, 10. (*0,25 M.*)
318. Optische Bank (S. 279). VIII 11—14, 20. (*2,50 M.*)
319. Gegenstand f. opt. Bank (S. 279). VIII 11, 14, 15, 20. (*1 M.*)
320. Linse f. opt. Bank (S. 279). VIII 11, 12, 14, 15, 20. (*1,25 M.*)
321. Schirm f. opt. Bank (S. 279). VIII 11—16, 18—20, 22. (*0,75 M.*)
322. Halbe Sammellinse (S. 282). VIII 12. (*1,75 M.*)
323. 2 Nadelhalter (S. 281). VIII 12, 13. (Stück *0,75 M.*)
324. Zerstreuungslinse (S. 282). VIII 13. (*1,25 M.*)
325. Halbe Zerstreuungslinse (S. 282). VIII 13. (*1,75 M.*)
326. Rollenpapier. VIII 15.
327. Sammellinse ($f = 25$ cm). VIII 16. (*0,50 M.*)
328. Sammellinse ($f = 7{,}5$ cm). VIII 16, 17_1. (*0,50 M.*)
329. Sammellinse ($f = 2{,}5$ cm). VIII 17_1. (*0,75 M.*)
330. 2 Sammellinsen ($f = 15$ cm). VIII 22. (Stück *0,50 M.*)
331. Sammellinse ($f = 5$ cm). VIII 22. (*0,75 M.*)
332. 3 Linsenhalter. VIII 16_1, 17_1, 22. (Stück *1,25 M.*)
333. Schirm aus Drahtgaze. VIII 16, 17_1, 22. (*0,75 M.*)
334. Pappröhre (S. 289). VIII 16_2. (*0,50 M.*)
335. Pappröhre (S. 290). VIII 17_2. (*0,40 M.*)
336. 2 Millimeterteilungen auf weißem Papier. VIII 17. (Stück *0,20 M.*)
337. Blende mit Spalt (S. 291 u. 297). VIII 18, 19, 21, 22. (*1,50 M.*)
338. Rot- und Blaustift. VIII 18.
339. Rotes und blaues Glas. VIII 18, 20, 21, 23. (Stück *0,25 M.*)
340. Mattes weißes, gelbes, grünes, violettes und schwarzes Papier. VIII 18.
341. Mattes rotes Papier. VIII 18, 20.
342. Mattes blaues Papier. VIII 18, 20.
343. Schwarzer Karton. VIII 18, 19, 22, 25.
344. Dickes weißes Fließpapier. VIII 21.
345. Glühlampe. VIII 21.
346. Asbestpapier. VIII 21, 25.
347. Fettstift. VIII 21.
348. Argandbrenner. VIII 23, 24. (*2,70 M.*)
349. Diapositivplatte. VIII 24. (20 Stück *1 M.*)
350. Auerbrenner (S. 302). VIII 25. (*3,75 M.*)
351. Beugungsgitter nebst Halter (S. 302). VIII 25. (*16,75 M.*)

IX. Magnetismus.

352. Magnetstab von 50 cm Länge und 0,25 cm Durchmesser (S. 306). IX 1_1. (*0,50 M.*)
353. Kurzer Robisonscher Magnet (S. 306). IX 1_2. (*2 M.*)
354. Langer Robisonscher Magnet (S. 320). IX 7_2. (*2,75 M.*)
355. Ablenkungsmagnetometer (S. 307). IX 1, 9_1. X 49—51. (*21 M.*)
356. Ablenkungsmagnetometer (S. 327). IX 9_2. X 49—51. (*10,50 M.*)
357. Zeichenbussole (S. 309). IX 2, 3, 5, 8. X 42. (*2,50 M.*)
358. 2 Stabmagnete (15 cm $\times$ 1 cm $\times$ 1 cm, S. 309). IX 3—5, 8. X 43. (Stück *1,50 M.*)
359. Stabmagnet (15 cm, 1 cm Durchmesser, S. 310). IX 4. X 52. (*1,50 M.*)
360. Hufeisenmagnet (S. 310). IX 4. X 48, 52. (*1,50 M.*)
361. Langer Magnet (S. 315). IX 7_1. (*3,50 M.*)
362. Magnetstab (5 cm $\times$ 0,8 cm $\times$ 0,8 cm). IX 9_1. (*0,80 M.*)
363. Magnetstab (3 cm $\times$ 0,8 cm $\times$ 0,8 cm). IX 9_1. (*0,70 M.*)
364. Gestell für Magnete (S. 310). (*3 M.*)
365. Ring aus weichem Eisen (S. 311). IX 4. (*0,50 M.*)
366. Zerschnittner Ring (S. 311). IX 4. (*0,75 M.*)
367. 4 Holzleisten (15 cm $\times$ 2 cm $\times$ 1 cm). IX 4. (*0,60 M.*)
368. 4 Holzleisten (30 cm $\times$ 2 cm $\times$ 1 cm) IX 4. X 41. (*1 M.*)

369. Eisenfeilspäne. IX 4. (1 kg *1 M.*)

370. Streubüchse für Eisenfeilspäne (S. 312). IX 4.

371. Schippe und Handfeger. IX 4. (*1 M.*)

372. Fischbein. IX 4.

373. Weißblechschale. IX 4. (*1,50 M.*)

374. Schwingungsmagnetometer (S. 314). IX 6—8. X 44. (*3,50 M.*)

375. Nachtlicht. IX 6—8.

376. Halter für das Schwingungsmagnetometer. IX 7_1, 8. (*5,50 M.*)

377. Halter für den langen Magnet. IX 7. (*4,50 M.*)

378. Magnetnadel. IX 7. (*4,50 M.*)

379. Batterieglas (S. 326). IX 9. (*0,60 M.*)

380. Petroleumlampe. IX 9_2. (*1,25 M.*)

381. Gehäuse mit Skala (S. 348). IX 9_2. (*5 M.*)

382. Sammellinse ($f = 12$ cm) mit Gestell. IX 9_2. (*1,75 M.*)

X. Galvanismus.

383. 3 Daniellsche Ketten (S. 330). X 6, 20, 21, 24, 26, 28, 30, 35_1, 36, 40—42. (Stück *3 M.*)

384. 4 Gnom-Ketten (S. 330). X 5, 6, 25, 29, 37—39. (Stück *2,50 M.*)

385. 4 Trockenketten (S. 330). X 5, 6, 25, 29, 37—39, 40, 43, 47, 48, 53.

386. Leclanchékette. X 6. (*1,60* bis *2,40 M.*)

387. 3 Bleisammler (S. 330). X 6, 7, 9—19_1, 23, 25, 27—29, 31—35, 40 bis 46, 49—51.

388. Meßsammler (S. 331). X 7.

389. Starkstromanlage. X 8, 19_2.

390. Leitungsschnüre (S. 331). X 2 bis 19_1, 20—43, 45—51, 53.

391. Doppelt mit Baumwolle besponnener und gewachster Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser (S. 331). X 2—19_1, 20—24, 26—43, 45—48, 50—53. (1 kg *4 M.*)

392. Leitungsdrähte für große Stromstärken. X 44, 49, 50.

393. Gestell für Drahtspiralen (S. 331). (*4,50 M.*)

394. Gestell für Leitungsschnüre (S. 332).

395. Klemmschrauben (S. 332). II A 1_1. X 8, 20, 21, 36, 52, 53.

396. 2 Klemmschrauben mit 3 Durchbohrungen. X 35, 36, 38. (Stück (*0,30 M.*)

397. Taster (S. 332). X 41, 47, 48, 53. (*2 M.*)

398. 2 Schalter (S. 333). X 2, 3, 7, 9, 12, 15—19, 21, 25, 28, 29, 35_2—40.

399. Stromwender (S. 335). X 2, 4—6, 8, 20, 22—24, 26, 27, 30—35_1, 37, 38, 41—47, 49—51. (*7 M.*)

400. 2 Wippen (S. 336). X 4, 5, 10, 11, 13—19_1, 36. (Stück *12 M.*)

401. Quecksilbertropfgefäß (S. 335). X 2—19_1, 20—38, 40—47, 49—51.

402. Gleitwiderstand (S. 337). X 2—4, 7, 9—19_1, 35_2, 35_3, 37, 41, 43, 45, 46, 51. (*3,75 M.*)

403. Flüssigkeitswiderstand (S. 337). X 44—46, 49—51. (Klein *3,50 M.*, groß *15,50 M.*)

404. Glühlampenwiderstand (S. 372). X 8. (Für 1 Lampe *3 M*, für 2 Lampen *4 M*, ohne Birnen.)

405. Widerstandsatz (S. 339). X 21, 23—30, 35_2, 35_3, 36, 38, 39. (*30 M.*)

406. Bruchohm (S. 340). X 21, 28, 36.

407. Widerstandspulen (S. 311). 1 Ohm X 25. — 2 Ohm X 39. — 5 Ohm X 25, 35_1, 38. — 10 Ohm X 35_1. — 50, 100, 150 Ohm X 23.

408. Stromprüfer nach Paschen (S. 343). X 37—40.

409. Stromprüfer (S. 463). X 52, 53.

410. Tangentenbussole (S. 344). X 2—6, 9—19_1, 20—24, 26—35_1, 36, 42, 43, 49, 51. (*30 M.*)

411. Leitungsschnur für die Tangentenbussole. X 2—6, 9—19_1, 20—24, 26—35_1, 36, 42, 43, 45, 46, 49—51.

412. 2 Spannungsmesser (S. 351). X 2—7, 15—19_1, 25, 29, 30, 31—34.

413. Spannungsmesser für Starkstrom. X 19_2.

414. Strommesser (S. 350). X 2, 3, 7—10, 12, 13, 15—20, 25, 31—34, 35_{2-3}, 44—46, 49—51.

415. Batterieglas (S. 354). X 1—4, 22. (*0,40 M.*)

416. Zinkblechstücke. X 1, 52.

417. Werg. X 1—3.

418. Alte Lappen. X 1—3.

419. 2 nicht amalgamierte Zinkstreifen (S. 357). X 2. (1 Stück *0,30 M.*)

420. 2 amalgamierte Zinkstreifen (S. 357). X 2—4, 22. (1 Stück *0,30 M.*)

421. 2 Kupferstreifen (S. 357). X 2, 3. (1 Stück *0,40 M.*)
422. 2 Blechklemmen (S. 357). X 2—4, 22. (Stück *0,75 M.*)
423. 2 Brettchen mit Schlitzen (S. 358). X 2—4, 22. (1 Stück *0,30 M.*)
424. 1 Brettchen mit 4 Schlitzen (S. 362). X 3. (*0,80 M.*)
425. 2 Ankerbausteine. X 2, 3. (1 Stück *0,40 M.*)
426. Glaszylinder (S. 354). X 2—4. (*0,30 M.*)
427. Filtrierpapier. X 2, 3, 8—11.
428. 2 flache Eßteller (S. 357). X 2, 3, 8, 22.
429. Kupferblech f. Daniell (S. 362). X 4, 22. (*0,75 M.*)
430. Tonzelle (S. 362). X 4, 22. (*0,35 M.*)
431. Gefäß zum Wässern der Tonzellen. X 4, 22.
432. 2 Kohlenstäbe (S. 368). X 8.
433. Kupfercoulombmeter (S. 375). X 9—11. (*7 M.*)
434. Knallgascoulombmeter (S. 381). X 12—14. (*11,50 M.*)
435. Eisenfreies Gestell für Knallgascoulombmeter usw. X 12—14, 41, 48. (*9 M.*)
436. 2 Kalorimeter mit Heizdraht (S. 387). X 15—19_1. (*10 M.*)
437. Glühlampe (16 oder 32 HK). X 19_2.
438. Glasgefäß (S. 392). X 19_2.
439. 2 Ausschalter für Starkstrom. X 19_2.
440. 7 Spulen aus Manganindraht (S. 396). X 20, 36, 38. (1 Stück *1,10 M.*)
441. Spulen von 20 m Kupferdraht (S. 397). X 21, 38. (*1,25 M.*)
442. Glasschale (S. 399). X 22. (*1,10 M.*)
443. Gefälldraht (S. 413). X 31—34, 40. (*16,50 M.*)
444. 3 Gleitschneiden (S. 413). X 31—34, 37, 38, 40. (1 Stück *1,20 M.*)
445. Wheatstonesche Brücke nebst Schneide (S. 421). X 37, 38. (*11 M.*)
446. Temperaturspule nebst Blechgefäß (S. 428). X 39. (*4 M.*)
447. Wasserbad. X 39.
448. Argandbrenner. X 39. (*4 M.*)
449. Spirituslampe. X 39. (*1,25 M.*)
450. Asbestplatte. X 39. (*0,30 M.*)
451. Bussole mit Gradteilung. X 41, 44—46, 52. (*3 M.*)
452. Isolierband. X 41, 47. (Rolle *1 M.*)
453. Zigarrenkistendeckel. X 42.
454. Holzbrett (S. 442). X 44. (*1,50 M.*)
455. Stromschleife (S. 448). X 45, 46. (*18 M.*)
456. Glasröhre (S. 451). X 47. (*0,40 M.*)
457. Weißblechstreifen. X 47.
458. Uhrfedern. X 47.
459. Holzklotz für Hufeisenmagnet. X 48.
460. Drehspule (S. 454). X 48. (*1 M.*)
461. Drahtspule (S. 455). X 49, 51.
462. 10 cm-Spule (S. 457). X 50. (*1 M.*)
463. Eisendraht (S. 457). X 51.
464. Dünner Glasstab. X 51.

IV. Bücherverzeichnis.

Das Verzeichnis enthält die Schriften meiner Büchersammlung, die bei der Einrichtung und Leitung physikalischer Schülerübungen und besonders messender Versuche von Nutzen sind, und es gibt zugleich einen Überblick über die Bücher, die mir beim Arbeiten auf diesem Gebiet zur Verfügung standen. Diese Sammlung dürfte, so weit sie reine Übungsbücher umfaßt, nur sehr wenige Lücken haben. Jeder Sachkundige vermag an den vielen ausländischen, namentlich amerikanischen Schriften, die in unsern Büchereien nicht vorhanden sind, zu ermessen, wieviel Arbeit, Zeit und Geld auf die Herbeischaffung dieser Bücher verwandt worden ist. Die wenigen fehlenden Schriften, die feinre wissenschaftliche oder technische Messungen behandeln und wegen Schülerübungen nur recht selten einzusehen sind, findet man in Kohlrauschs *Lehrbuch der praktischen*

Physik erwähnt. Von dem Verzeichnis habe ich die Bücher ausgeschlossen, die fast nur qualitative Übungen enthalten, da ich diese in meinen *Freihandversuchen* bereits angeführt habe oder noch darin veröffentlichen werde.

Die Arbeiten über Schülerübungen, die in ausländischen Zeitschriften und Schulschriften stehen, sind mir zumeist nicht zugänglich; nur ausländische Gelehrte können sie mit ausreichender Vollständigkeit zusammenstellen. WALTER LEICK hat in seinem trefflichen Büchlein über *die praktischen Schülerarbeiten in der Physik* die deutschen Schriften nahezu vollständig gesammelt, und ich habe in den letzten Jahren in der *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht* regelmäßig über die Fortschritte der Schülerübungsfrage berichtet. Aus diesen Gründen habe ich alle Abhandlungen, die in Zeitschriften und Schulschriften erschienen sind, nicht in das Verzeichnis aufgenommen, sondern beschränke mich hier darauf, die Zeitschriften in deutscher, englischer und französischer Sprache zu erwähnen, in denen die Arbeiten über Schülerübungen zumeist erscheinen:

Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht. In Verbindung mit A. HÖFLER, O. OHMANN *und* H. HAHN *herausgegeben von* F. POSKE. *Berlin, Julius Springer.*

Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen. Herausgegeben von B. LANDSBERG *und* B. SCHMIDT. *Leipzig, B. G. Teubner.*

Periodische Blätter für Realienunterricht und Lehrmittelwesen. In Verbindung mit J. FISCHER *und* R. NEUMANN *geleitet von* J. KRAUS. *Wien, Akademischer Verlag.*

School Science and Mathematics. CHAS. H. SMITH, *Editor.* CHAS. M. TURTON, *Business Manager. Chicago.*

The School World. London, Macmillan and Co., Ltd.

La revue de l'enseignement des sciences. Paris, Librairie H. Le Soudier.

Bulletin de l'union des physiciens. Bureaux: Paris (XII^e), Avenue Ledru-Rollin.

Abraham, Henri. Recueil d'expériences élémentaires de physique. 2 Vol. Paris, Gauthier-Villars, 1904. Vgl. Schreber-Springmann.

Adams, Charles F. Physical Laboratory Manual. New York, American Book Company, o. J. (1896).

Adamson, John William. The Practice of Instruction. London, National Society's Depository, o. J. (1907).

Allanach, William. Elementary Experimental Magnetism and Electricity, London, Longmans, Green and Co., 1906.

Allen, Charles R. Laboratory Exercises in Elementary Physics. Edition for Teachers. New York, Henry Holt and Company, 1895.

Ames, Joseph S., and Bliss, William J. A. A Manual of Experiments in Physics. New York, American Book Company, o. J. (1898).

Andrews, Ernest J., and Howland, H. N. Elements of Physics. New York, The Macmillan Company, 1903.

Armagnat, H. Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles. 2. éd. Paris, Gauthier-Villars, 1902.

Armstrong, Henry E. The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education. London, Macmillan and Co., 1903.

Ashford, C. E. A Preliminary Course of Practical Physics. 3. Impr. London, Edward Arnold, o. J. (1904).

Ashford, C. E. Electricity and Magnetism, Theoretical and Practical. 6. Impr. London, Edward Arnold, o. J. (1903).

Ashworth, J. Reginald. Heat, Light, and Sound. London, Whittaker & Co., 1906.

Ayres, Franklin H. Laboratory Exercises in Elementary Physics. New York, D. Appleton and Company, 1905.

Ayrton, W. E. Practical Electricity. London, Cassell and Company, 1903.

Ball, Sir Robert Stawell. Experimental Mechanics. 2. Ed. London, Macmillan and Co., 1888.

Bahrdt, Wilhelm. Physikalische Messungsmethoden. Sammlung Göschen Nr. 301. Leipzig, G. J. Göschen, 1906.

Barrett, W. F., and Brown, W. Introductory Practical Physics. New Ed. London, Simpkin, Marshall, Hamilton, Kent & Co., o. J. (1906).

Berndt, Georg W., und Boldt, Carl. Physikalisches Praktikum. 2 Teile. Halle a. S., Carl Marhold, 1906.

Blair, Robert. Some Features of American Education. Dublin, Alex. Thom & Co., 1904.

Blasius, Eugen. Physikalische Übungen für Mediciner. Leipzig, S. Hirzel, 1895.

Board of Education (Education Department). Special Reports on Educational Subjects. Bd. 2—11. London, Eyre and Spottiswoode, 1898—1902. (Bd. 1 ist vergriffen und nicht in meinem Besitz.)

Board of Education. Syllabus of the Course of Practical Instruction in Physics, Part I, at the Royal College of Science, South Kensington. London, Eyre and Spottiswoode, 1902.

Board of Education. Syllabuses and Lists of Apparatus Applicable to Schools and Classes Other than Elementary. London, Eyre and Spottiswoode, 1903.

Bödige, Nikolaus. Das Archimedische Prinzip als Grundlage physikalisch-praktischer Übungen. Osnabrück, Mainders & Elstermann, 1901.

Börnstein, Richard, und Meyerhoffer, Wilhelm. Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. Berlin, Julius Springer, 1905.

Borchardt, W. G. Elementary Statics. London, Rivingtons, 1907.

Böttger, W. Amerikanisches Hochschulwesen. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1906.

Bower, William R., and Satterly, J. Practical Physics. London, University Tutorial Press Ld., 1906.

Bremer, F., Leitfaden der Physik. Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Buignet, Henri. Manipulations de Physique. Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1877.

Carhart, Henry S., and Patterson, George W. Electrical Measurements. Boston, Allyn and Bacon, o. J. (1895).

Carmichael, N. R. Physical Experiments. Kingston, Ontario, R. Uglow & Co., 1904.

Cheston, Henry C., Dean, Philip R., and Timmermann, Charles E. A Laboratory Manual of Physics. New York, American Book Company, o. J. (1903).

Chute, H. N. Physical Laboratory Manual. Rev. Ed. Boston, D. C. Heath & Co., 1903.

Clarke, Frank Wigglesworth. A Report on the Teaching of Chemistry and Physics in the United States. Circulars of Information of the Bureau of Education. Nr. 6. 1880. Washington, Government Printing Office, 1881.

Clay, Reginald S. Practical Exercises in Light. London, Macmillan and Co., 1902.

Clough, W. T., and Dunstan, A. E. Elementary Experimental Science. 3. Ed. London, Methuen & Co., 1906.
Cohn, Paul. Das Bildungswesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Wien, Alfred Hölder, 1906.
Coleman, S. E. Physical Laboratory Manual. New York, American Book Company, o. J. (1903).
Conférences du musée pédagogique 1904. L'Enseignement des sciences mathématiques et des sciences physiques par H. Poincaré, G. Lippmann, L. Poincaré, P. Langevin, E. Borel, F. Marotte avec une introduction de L. Liard. Paris, Imprimerie Nationale, 1904.
Crew, Henry, and Tatnall, Robert G. A Laboratory Manual of Physics. New York, The Macmillan Company, 1902.
Cumming, Linnaeus. Mechanics for Beginners. London, Revington, Percival & Co., 1897.
Damien, B.-C., et Paillot, R. Traité de manipulations de Physique. Paris, Masson et Cie., 1896.
Dannemann, Friedrich. Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage. Hannover, Hahnsche Buchhandlung, 1907.
Dennert, E. Das physikalische Praktikum. 2. Aufl. Leipzig, Erwin Nägele, 1907.
Dexter, Joseph S. Elementary Practical Exercises in Sound, Light, and Heat. London, Longmans, Green and Co., 1901.
Dobbs, W. J. Examples in Elementary Mechanics Practical, Graphical and Theoretical. London, Methuen & Co., o. J. (1908).
Duncan, J. Applied Mechanics for Beginners. London, Macmillan and Co., 1903.
Duff, A. Willmer. Elementary Experimental Mechanics. New York, The Macmillan Company, 1905.
Earl, Alfred. Practical Lessons in Physical Measurement. London, Macmilian and Co., 1894.
Earl, A. G. The Elements of Laboratory Work. London, Longmans, Green and Co., 1890.
Edser, Edwin. Measurement and Weighing. London, Chapman & Hall, 1899.
Eggar, W. D. Mechanics. London, Edward Arnold, o. J. (1905).
Felgentraeger, W. Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwage. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Ferry, Ervin Sidney, and Jones, Arthur Taber. A Manual of Practical Physics. Vol. I. New York, Longmans, Green and Co., 1908.
Findlay, Alex. Practical Physical Chemistry. London, Longmans, Green and Co., 1906.
Fischer, Karl T. Der naturwissenschaftliche Unterricht in England. Leipzig, B. G. Teubner, 1901.
Fischer, Karl T. Der naturwissenschaftliche Unterricht — insbesondere in Physik und Chemie — bei uns und im Auslande. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft. Bd. I. Heft 3. Berlin, Julius Springer, 1905.
Fischer, Karl T. Neuere Versuche zur Mechanik der festen und flüssigen Körper. Leipzig, B. G. Teubner, 1902.
Fiske, Wilbur A. Physical Laboratory Manual. Richmond, Ind., Nicholson Printing & Mfg. Co., 1901.
Franklin, W. S., Crawford, C. M., and Macnutt, Barry. Practical Physics. 3 Vol. New York, The Macmillan Company, 1908.
Frey, O. Physikalischer Arbeitsunterricht. Leipzig, Ernst Wunderlich, 1907.
Fröhlich, O. Die Entwicklung der elektrischen Messungen. Die Wissenschaft. 5. Heft. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1905.
Gage, Alfred P. Physical Experiments. Boston, Ginn & Company. 1901.
Getman, Frederick H. Laboratory Exercises in Physical Chemistry. New York, John Wilsons & Sons, 1904.

Gilley, Frank M. Principles of Physics. Boston, Allyn and Bacon, o. J. (1901).

Glazebrook, R. T. Mechanics. Cambridge, University Press, 1895. — — Heat. Ebd. 1894. — — Light. 2. Ed. Ebd. 1895. — — Electricity and Magnetism. Ebd. 1903.

Glazebrook, R. T., und Shaw, W. N. Einführung in das physikalische Praktikum. Deutsch herausgegeben von W. Schloesser. Leipzig, Quandt & Händel, 1888.

Goodwin, H. M. Physical Laboratory Experiments. General Physical Measurements and Mechanics. Printed for the use of students of the Massachusetts Institute of Technology, not published. 2. Ed. Boston, Geo. H. Ellis Co., Printers, 1906.

Gordon, Hugh. Elementary Course of Practical Science. Part I. London, Macmillan and Co., 1893.

Gregory, Richard A. An Exercise Book of Elementary Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ld., 1899.

Gregory, R. A., and Simmons, A. T. Exercises in Practical Physics. 2 Parts. London, Macmillan and Co., Ld., 1899.

Grimsehl, E. Ausgewählte physikalische Schülerübungen. Leipzig, B. G. Teubner, 1906.

Grimsehl, E. Die Ziele und Methoden des physikalischen Unterrichts auf der Unterstufe und der Oberstufe. Hamburg, Lütcke & Wulff, 1905.

Grünbaum, F. und Lindt, R. Das physikalische Praktikum des Nichtphysikers. Leipzig, Georg Thieme, 1905.

Gutzmer, A. Die Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.

Hadley, H. E. Practical Exercises in Magnetism and Electricity. London, Macmillan and Co., Ld., 1901.

Hahn, Hermann. Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten? Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaften. Bd. I. Heft 4. Berlin, Julius Springer, 1905.

Hall, Edwin H. Descriptive List of Elementary Exercises in Physics Corresponding to the Requirement in Elementary Experimental Physics for Admission to Harvard College and the Lawrence Scientific School. 3. Ed. Cambridge, Harvard University, 1903.

Hall, Edwin H., and Bergen, Joseph Y. A Text-Book of Physics. 3. Ed. New York, Henry Holt and Company, 1903.

Hall, Elmer E., and Minor, Ralph, S. A Sophomore Course in Physical Measurements. Berkeley, California, 1904.

Hallo, H. S., und Land, H. W. Elektrische und magnetische Messungen und Meßinstrumente. Berlin, Julius Springer, 1906.

F. Harrwitz. Adreßbuch der deutschen Präzisionsmechanik und Optik und verwandter Berufszweige (Glasinstrumentenindustrie, Elektromechanik). 3. Aufl. Berlin, Administration der Fachzeitschrift „Der Mechaniker“, 1906.

Heller, W. Mayhowe, and Ingold, Edwin G. Elementary Experimental Science. London, Blackie & Son, 1905.

Henderson, John. Practical Electricity and Magnetism. New Ed. London, Longmans, Green and Co., 1904.

Henderson, John. Preliminary Practical Magnetism and Electricity. London, Longmans, Green and Co., 1900.

Henrici, O., and Turner, G. C. Vectors and Rotors with Applications. London, Edward Arnold, o. J. (1903).

Heydweiller, Ad. Hülfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1892.

Hibbert, W. Magnetism and its Elementary Measurement. London, Longmans, Green and Co., 1904.

Hoadley, George A. Practical Measurements in Magnetism and Electricity. New York, American Book Comp., o. J. (1904).

Holman, Silas W. Computation Rules and Logarithms. New York, The Macmillan Company, 1908.

Holman, Silas W. Discussion of the Precision of Measurements. 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, 1904.

Holman, Silas W. Physical Laboratory Notes. Part II. Electrical Measurements. Massachusetts Institute of Technologie. 12. Ed. (von Frank A. Laws). Boston, The Southgate Press, o. J. (1906).

Hopkins, N. Monroe. Experimental Electrochemistry. London, Archibald Constable & Co., Ltd., 1905.

Hopkins, William J. Preparatory Physics, a Short Course in the Laboratory. London, Longmans, Green and Co., 1894.

Horn, Ewald. Das höhere Schulwesen der Staaten Europas. 2. Aufl. Berlin, Trowitzsch & Sohn, 1907.

Hortvet, Julius. A Manual of Elementary Practical Physics. 2. Ed. Minneapolis, H. W. Wilson, 1902.

Kaiser, Wilhelm. Physikalische Schülerübungen in den oberen Klassen. Leipzig, Quelle & Meyer, o. J. (1907).

Kelsey, W. R. Physical Determinations. 2. Ed. London, Edward Arnold, 1904.

Kerr, John G., and Brown, John N. Elementary Physics, Practical and Theoretical. 2. Vol. London, Blackie & Son, 1901 und 1903.

Kerschensteiner, Georg. Grundfragen der Schulorganisation. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Kielhauser, Ernst A. Die Stimmgabel. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Kleiber, Johann. Experimental-Physik für die Unterstufe. München, R. Oldenburg, 1908.

Kohlrausch, Friedrich. Kleiner Leitfaden der praktischen Physik. 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Kohlrausch, Friedrich. Lehrbuch der praktischen Physik. 10. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1905.

Meine Hinweise, bei denen nur „Kohlrausch" steht, beziehen sich stets auf dieses Buch und nicht auf den Leitfaden.

Kohlrausch, F., und Holborn, L. Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig, B. G. Teubner, 1898.

Kuypers, Franz. Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Aus Natur und Geisteswelt. 150. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Laisant, C.-A. L'éducation fondée sur la science. 2. éd. Paris, Felix Alcan, 1 [illegible] 5.

Le Bon, Gustave. Psychologie de l'éducation. Paris, Ernest Flammarion, 1906.

Leick, Walter. Praktische Schülerarbeiten in der Physik. Leipzig, Quelle & Meyer, 1907.

Leobner, Heinrich. Die Grundzüge des Unterrichts- und Erziehungswesens in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Wien, Franz Deuticke, 1907.

Liebenthal, Emil. Praktische Photometrie. Braunschweig, Friedrig Vieweg & Sohn, 1907.

Lodge, Sir Oliver. School Teaching and School Reform. London, Williams & Norgate, 1905.

Loudon, W., and McLennan, J. C. A Laboratory Course in Experimental Physics. New York, Macmillan and Co., 1895.

Lupton, Sidney. Notes on Observations. London, Macmillan and Co., Ld., 1898.

Mach, E. Erkenntnis und Irrtum. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1905.

Mackenzie, A. H. Theoretical and Practical Mechanics and Physics. London, Macmillan and Co., Ld., 1906.

Mann, C. Riborg. Manual of Advanced Optics. Chicago, Scott, Foresman and Company, 1902.

Marotte, F. L'enseignement des sciences mathématiques et physiques dans l'enseignement secondaire des garçons en Allemagne. Paris, Imprimerie nationale, 1905.

Mascart, E. Leçons sur l'électricité et le magnétisme. 2. éd. 2 Vol. Paris, Masson et Cie., Gauthier-Villars, 1896, 1897.

Matthias, Adolf. Praktische Pädagogik für höhere Lehranstalten. 3. Aufl. München, C. H. Beck, 1908.

Mergier, G.-E. Traité pratique de manipulations de Physique. Optique. Paris, Alexandre Coccoz, 1888.

Miller, Dayton Clarence. Laboratory Physics. Boston, Ginn & Company, 1903.

Millikan, Robert Andrews. Mechanics, Molecular Physics, and Heat. Boston, Ginn & Company, 1903.

Millikan, Robert Andrews, and Gale, Henry Gordon. A Laboratory Course in Physics. Boston, Ginn & Company, o. J. (1906).

Morin, Pierre. Exercices pratiques de physique. 2. Vol. Paris, Henry Paulin et Cie., 1905, 1906.

Müller, Friedrich C. G. Technik des physikalischen Unterrichts nebst Einführung in die Chemie. Berlin W., Otto Salle, 1906.

Müller, Siegmund. Technische Hochschulen in Nordamerika. Aus Natur und Geisteswelt. 190. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.

Nichols, Edward L. A Laboratory Manual of Physics and Applied Electricity. 2 Vol. New York, Macmillan and Co., 1894.

Nichols, Edward L. The Outlines of Physics. New York, The Macmillan Company, 1904.

Nichols, Fred R., Smith, Charles H., and Turton, Charles M. Manual of Experimental Physics. Boston, Ginn & Company, 1899.

Niemöller, Friedrich. Apparate und Versuche für physikalische Schülerübungen. Osnabrück, G. E. Lückerdt, 1894.

Noack, Karl. Aufgaben für physikalische Schülerübungen. Berlin, Julius Springer, 1905.

Noack, Karl. Elementare Messungen aus der Elektrostatik. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft. Band II. Heft 1. Berlin, Julius Springer, 1906.

Noack, Karl. Leitfaden für physikalische Schülerübungen. Berlin, Julius Springer, 1892.

Nunn, T. Percy. The Aim and Achievements of Scientific Method. London, Macmillan and Co., Ld., 1907.

Ostwald, W., und Luther, R. Hand- und Hülfsbuch zur Ausführung Physiko-chemischer Messungen. 2. Aufl. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1902.

Pabst, Alwin. Die Knabenhandarbeit. Aus Natur und Geisteswelt. 140. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Pabst, Alwin. Praktische Erziehung. Wissenschaft und Bildung Nr. 28. Leipzig, Quelle & Meyer, 1908.

Perry, John. Applied Mechanics. London, Cassell and Company, 1897. Deutsche Übersetzung von Rudolf Schick. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.

Perry, John. Discussion at Johannesburg on the Teaching of Elementary Mechanics. British Association Meeting in South Africa 1905. London, Macmillan and Co., Ld., 1906.

Perry, John. England's Neglect of Science. London, T. Fisher Unwin, 1900.

Perry, John. The Steam Engine and Gas and Oil Engines. London, Macmillan and Co., 1900.

Pfeiffer, Emanuel. Physikalisches Praktikum für Anfänger. Leipzig, B. G. Teubner, 1903.

Plan d'études et programmes d'enseignement dans les lycées et collèges de garçons. [Arrêtés du 31 mai 1902.] Paris, Delalain Frères, o. J.

Report of the Mosely Educational Commission to the United States of America, October-December, 1903. London, Co-operative Printing Society Ld., 1904.

Riecke, E. Beiträge zur Frage des Unterrichts in Physik und Astronomie an den höheren Schulen. Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Rimbach, E. Übungen in den wichtigeren physikalisch-chemischen Meßmethoden. Für den Gebrauch im chemischen Institut der Universität Bonn. Als Manuskript gedruckt. Bonn 1904.
Rintoul, D. An Introduction to Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ld., 1898.
Robson, E. S. A. Practical Exercises in Heat. London, Macmillan and Co., Ld., 1902.
Roth, W. A. Physikalisch-chemische Übungen. Hamburg, Leopold Voss, 1907.
Röttgers, B. Das englische Schul- und Erziehungswesen. Halle a. S., Gebauer-Schwetschke, 1906.
Rudolphi, Max. Einführung in das physikalische Praktikum. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1901.
Russell, T. H. The Planning and Fitting-Up of Chemical and Physical Laboratories. London, B. T. Batsford, 1903.
Sabine, Wallace Clement. A Students Manual of a Laboratory Course in Physical Measurements. Boston, Ginn & Company, 1900.
Sanford, Fernando. Elements of Physics. New York, Henry Holt and Company, 1904.
Schmidt, Bastian. Der naturwissenschaftliche Unterricht und die wissenschaftliche Ausbildung der Lehramtskandidaten der Naturwissenschaften. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Schoenichen, Walther. Natur und Schule in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Leipzig, Quelle & Meyer, 1908.
Schreber, K., und Springmann, P. Experimentierende Physik. Zugleich vollständig umgearbeitete deutsche Ausgabe von Henri Abraham's Recueil d'expériences élémentaires de physique. 2 Bd. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1905 u. 1906.
Schuster, Arthur, and Lees, Charles H. Advanced Exercises in Practical Physics. Cambridge, University Press, 1901.
Schuster, Arthur, and Lees, Charles, H. An Intermediate Course of Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1896.
Searle, G. F. C. Experimental Elasticity. Cambridge, University Press, 1908.
Shaw, W. N. Practical Work at the Cavendish Laboratory. Heat. Cambridge, University Press, 1886.
Sieveking, Hermann. Anleitung zu den Übungen im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule zu Karlsruhe. Karlsruhe, Wilhelm Jahraus, 1903.
Sinclair, James. A First Year's Course in Practical Physics. 2. Ed. London. George Bell & Sons, 1906. — — A Second Year's Course in Practical Physics. Ebd. 1907. — — A Third Year's Course in Practical Physics. Ebd. 1908.
Slate, Frederick. Physics. New York, The Macmillan Company, 1902.
Smith, Alexander, and Hall, Edwin H. The Teaching of Chemistry and Physics in the Secondary School. New York, Longmans, Green and Co., 1902.
Smith, Edgar F. Quantitative Elektroanalyse. Deutsch bearbeitet von Arthur Stähler. Leipzig, Veit & Co., 1908.
Stewart, Balfour, and Gee, W. W. Haldane. Lessons in Elementary Practical Physics. Vol. I. (2. Ed.) Vol. II. Vol. III. Part I (C. L. Barnes). London, Macmillan and Co., 1893, 1896, 1897.
Stewart, Balfour, und Gee, Haldane. Praktische Physik für Schulen und jüngere Studierende. Autorisierte Übersetzung von Karl Noack. 1. T. Elektrizität und Magnetismus. Berlin, Julius Springer, 1889.
Stone, William Abbott. Experimental Physics. Boston, Ginn & Co., 1899.
Strecker, Karl. Hilfsbuch für die Elektrotechnik. 7. Aufl. Berlin, Julius Springer, 1907.
Stroud, Henry. Elementary Practical Physics. London, Methuen & Co., 1899.
Terquem, A., et Damien, B.-C. Introduction à la physique expérimentale. Paris, A. Hermann, 1888.
The Incorporated Association of Headmasters. Syllabus of an Elementary Course in Physics and Chemistry. London, Whittaker & Co., 1902.

Holman, Silas W. Computation Rules and Logarithms. New York, The Macmillan Company, 1908.
Holman, Silas W. Discussion of the Precision of Measurements. 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, 1904.
Holman, Silas W. Physical Laboratory Notes. Part II. Electrical Measurements. Massachusetts Institute of Technologie. 12. Ed. (von Frank A. Laws). Boston, The Southgate Press, o. J. (1906).
Hopkins, N. Monroe. Experimental Electrochemistry. London, Archibald Constable & Co., Ltd., 1905.
Hopkins, William J. Preparatory Physics, a Short Course in the Laboratory. London, Longmans, Green and Co., 1894.
Horn, Ewald. Das höhere Schulwesen der Staaten Europas. 2. Aufl. Berlin, Trowitzsch & Sohn, 1907.
Hortvet, Julius. A Manual of Elementary Practical Physics. 2. Ed. Minneapolis, H. W. Wilson, 1902.
Kaiser, Wilhelm. Physikalische Schülerübungen in den oberen Klassen. Leipzig, Quelle & Meyer, o. J. (1907).
Kelsey, W. R. Physical Determinations. 2. Ed. London, Edward Arnold, 1904.
Kerr, John G., and Brown, John N. Elementary Physics, Practical and Theoretical. 2. Vol. London, Blackie & Son, 1901 und 1903.
Kerschensteiner, Georg. Grundfragen der Schulorganisation. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Kielhauser, Ernst A. Die Stimmgabel. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Kleiber, Johann. Experimental-Physik für die Unterstufe. München, R. Oldenburg, 1908.
Kohlrausch, Friedrich. Kleiner Leitfaden der praktischen Physik. 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Kohlrausch, Friedrich. Lehrbuch der praktischen Physik. 10. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1905.
Meine Hinweise, bei denen nur „Kohlrausch“ steht, beziehen sich stets auf dieses Buch und nicht auf den Leitfaden.
Kohlrausch, F., und Holborn, L. Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig, B. G. Teubner, 1898.
Kuypers, Franz. Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Aus Natur und Geisteswelt. 150. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
Laisant, C.-A. L'éducation fondée sur la science. 2. éd. Paris, Felix Alcan, 1 ! 5.
Le Bon, Gustave. Psychologie de l'éducation. Paris, Ernest Flammarion, 1906.
Leick, Walter. Praktische Schülerarbeiten in der Physik. Leipzig, Quelle & Meyer, 1907.
Leobner, Heinrich. Die Grundzüge des Unterrichts- und Erziehungswesens in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Wien, Franz Deuticke, 1907.
Liebenthal, Emil. Praktische Photometrie. Braunschweig, Friedrig Vieweg & Sohn, 1907.
Lodge, Sir Oliver. School Teaching and School Reform. London, Williams & Norgate, 1905.
Loudon, W., and McLennan, J. C. A Laboratory Course in Experimental Physics. New York, Macmillan and Co., 1895.
Lupton, Sidney. Notes on Observations. London, Macmillan and Co., Ld., 1898.
Mach, E. Erkenntnis und Irrtum. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1905.
Mackenzie, A. H. Theoretical and Practical Mechanics and Physics. London, Macmillan and Co., Ld., 1906.
Mann, C. Riborg. Manual of Advanced Optics. Chicago, Scott, Foresman and Company, 1902.
Marotte, F. L'enseignement des sciences mathématiques et physiques dans l'enseignement secondaire des garçons en Allemagne. Paris, Imprimerie nationale, 1905.

Sachverzeichnis.

Die Zahlen verweisen auf die Seiten.

Anhang.

Berichtigungen.

S. 80. Aufg. 17. Die Hinweise beziehen sich auf Aufg. **16** und nicht auf Aufg. 15.

S. 83. Aufg. 19 c. Lies Aufg. **16** statt Aufg. 15.

S. 133. Aufg. 1 b, c. Man verwendet am bequemsten zwei nebeneinander gestellte Rinnen gleicher Neigung.

S. 389. Aufg. 17 d. Lies Aufg. **16** statt Aufg. 17.

S. 399. Aufg. 22 a. Die Schale ist mit einer konzentrierten Cuprisulfatlösung (vgl. S. 362) zu füllen.

S. 500. Ostwald, Wilhelm. Erfinder und Entdecker. Die Gesellschaft. 24. Bd. Frankfurt a. M., Rütten & Loening, o. J. (1908).