Leitfaden für Physikalische Schülerübungen

von Hermann Hahn

Zweite Auflage

Leitfaden

für

Physikalische Schülerübungen

Von

Hermann Hahn
Professor am Dorotheenstädtischen Realgymnasium
und Leiter der Anstalt für naturwissenschaftliche
Fortbildung der Lehrer höherer Schulen

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 194 Textfiguren

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1914

ISBN 978-3-662-23347-4 ISBN 978-3-662-25394-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-25394-6

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1914

Vorrede.

Bei einigen Übungen, die nur selten im Unterricht ausgeführt werden, habe ich die Anleitungen weggelassen und dadurch den Umfang des Leitfadens bedeutend vermindert, ohne dabei die enge Verbindung mit meinem Handbuch für physikalische Schülerübungen zu lockern.

Leider sind falsche Auffassungen aufgetaucht, wie dieser Leitfaden im Unterricht zu verwerten sei. Ich habe meinen Unterrichtsbetrieb zwar knapp, doch klar und bündig mehrfach geschildert. Ich verweise auf die Vorrede und auf den Anhang meines Handbuchs und besonders auf die Abhandlung „Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?“ Verlag von Julius Springer, Berlin 1905.

Bei der Herstellung des Leitfadens stand mir treffliche Hilfe treu zur Seite. Ich danke herzlich für diese selbstlose Mitarbeit, ohne die ich die neue Auflage nicht hätte herausgeben können.

Berlin-Halensee, den 7. März 1914.

Hermann Hahn.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Maß und Messen.

I. Raum und Gestalt.

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

Geräte. Nadeln. Holzklotz. Meterstab.

Anleitung. **a)** Stich mit einer Nadel zwei feine Löcher in ein Blatt deines Hefts, 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 untern 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.

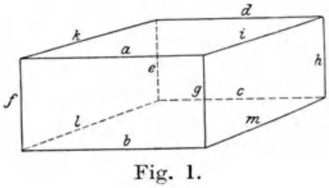

Fig. 1.

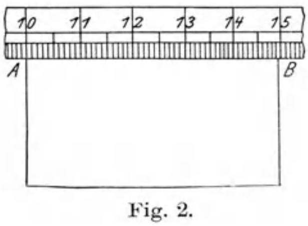

Fig. 2.

d) Bezeichne, wenn es noch nicht geschehen ist, die Kanten des Körpers wie in 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 bei dem 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 Dezimalkommas 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) Ermittle 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 $L = \dots$ [cm].

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

Hauptmittel $H = \dots$ [cm].

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

Hauptmittel $B = \dots$ [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? *Abgekürztes Vervielfachen.*

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

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

Geräte. Millimeterpapier. Schere. Rechenstab. Reißnägel. Spitzer harter Bleistift. 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 auf viele Weisen mechanisch ausführen. Man könnte erst 6928 Bohnen in einen Sack legen, dann

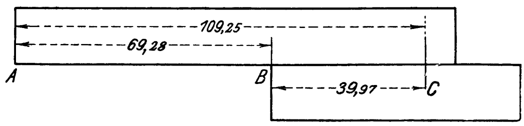

Fig. 3.

noch 3997 Bohnen hinzufügen und nun das Ganze zählen. Schlauer schon wäre es, 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. 3) am untern Rande $AB = 69{,}28$ cm und auf

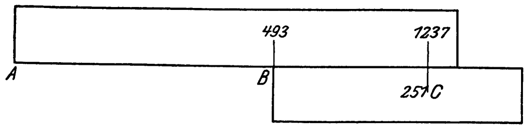

Fig. 4.

einem andern Streifen am obern 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 die Enden der Strecken, die die Mantissen der Logarithmen darstellen, statt der Vielfachen der Mantissen die Vielfachen ihrer Numeri geschrieben. Ein

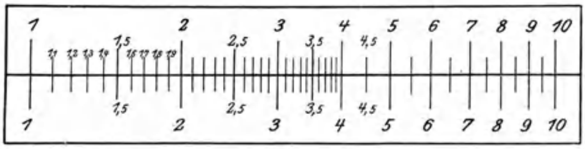

Fig. 5.

Rechenstab hat also nicht die in Fig. 3, sondern die in Fig. 4 abgebildete Bezifferung.

b) Schneide aus Millimeterpapier zwei Streifen, die $\sim$ 12 cm lang und 2 cm breit sind. Hefte sie mit Reißzwecken dicht nebeneinander und zwar so, daß ihre Teilstriche genau zusammenfallen (Fig. 5). 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. 6) hat auf dem festen Rahmen (dem Stabe) und auf dem beweglichen Schieber solche Teilungen und ist außerdem mit einem verschiebbaren Läufer versehen, dessen Marke zur Einstellung beliebiger Zahlen auf der Stabteilung dient.

d) Wir wollen zunächst nur mit der obern 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 von N dar. Stelle den Schieber so, daß der Strich 1 des Schiebers dem Teilstrich 2 des Stabes genau gegenübersteht. 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 gegenüberliegt, 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

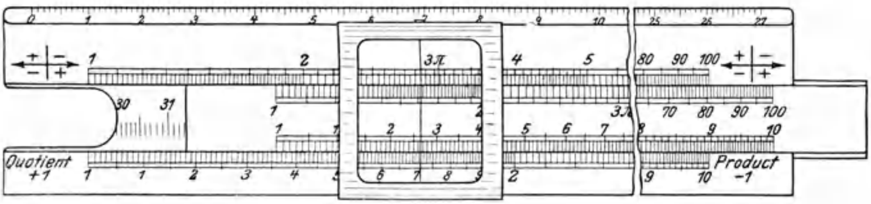

Fig. 6.

Strich 1 des Schiebers unter die Marke des Läufers und lies auf dem Stabe die Zahl ab, die der Zahl 2 des Schiebers gegenüberliegt.

f) Teile 12 durch 3. Stelle die Zahl 3 des Schiebers der Zahl 12 auf dem Stabe gegenüber. 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 Produkts $a \cdot b$ gegenüber. Berechne 65×6; $41{,}7:2{,}93$.

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

k) Die Striche der untern 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 untern Teilung ergibt mithin oben das Quadrat der Zahl. Man kann also mit dem Läufer die Quadrate und die 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.

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

1. Verfahren.

Geräte. Walze. Stecknadel. Meterstab. Papier. Schere.

Anleitung. a) Lege um die Mitte der Walze einen Streifen aus dünnem Papier einmal fest herum und stich mit der Nadel durch den Streifen, da wo seine Enden übereinanderliegen. Wickle das Papier ab, umringle 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, wickle den Streifen einmal oben und einmal unten um die Walze und miß jedesmal den Umfang. Nimm das Mittel aus allen Messungen.

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

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

Berechne den Halbmesser r aus dem Mittelwert von u.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr.... ....walze Nr....

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

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

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

f) Zeichne den Aufriß und den Grundriß der Walze und trage die Längen des Durchmessers und der Höhe ein.

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

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

2. Verfahren.

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

Anleitung. h) Mache an dem einen Ende des Garns einen Knoten, wickle etwa dreißigmal in dicht nebeneinander liegenden Windungen den Faden um die Walze 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 Ergebnissen das Mittel.

i) Sind N die Anzahl der Windungen, r cm der Halbmesser der Walze und l cm der Mittelwert der 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.... ....walze Nr....

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

$V = \ldots\ldots$ [cm³].

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

3. Verfahren.

Geräte. Walze. Maßstab. Holzklötze.

Anleitung. m) Lege die beiden Holzklötze mit zwei Flächen aneinander, halte 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° um die Achse, die auf der Berührungsfläche senkrecht steht, und prüfe, ob sich auch jetzt beide Flächen überall berühren.

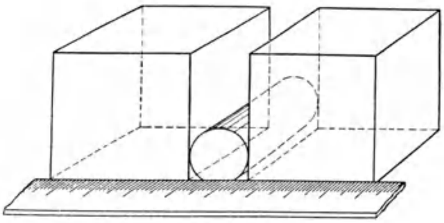

Fig. 7.

n) Lege die Walze so zwischen die beiden Flächen, daß ihre Längsachse diesen parallel läuft, und setze den Maßstab so vor die beiden Klötze, daß seine Teilung dicht an den Klötzen und dem Walzenboden anliegt (Fig. 7). Miß den Abstand (d cm) der beiden Flächen.

o) Drehe die Walze um ihre Achse und miß noch zweimal ihren Durchmesser; benutze dabei jedesmal einen andern Teil des Maßstabes.

p) Wende die Walze, so daß jetzt der andere Walzenboden dem Maßstab zugekehrt ist, und verfahre wie bei (n) und (o).

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . walze Nr. . . .

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

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

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

r) Miß auf die gleiche Weise die Höhe h der Walze in Zentimeter. *Schustermaß. Schublehre.*

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

4. Aufgabe. *Miß mit der Schublehre den Durchmesser und die Höhe der vorgelegten Walze und berechne ihren Raum.*

Geräte. Karton oder Papier. Meterstab. Schere. Spitzer harter Bleistift. Dreiecke. Schublehre. Walze. Lupe.

Anleitung. a) Ziehe längs der Mitte des Kartons eine Gerade AB (Fig. 8). 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 bei der Arbeit dafür, daß stets der Maßstab gut beleuchtet ist. Ziehe mit den Dreiecken, wie in der Figur 8, rechtwinklig zu AB nach unten kurze Striche und beziffere sie wie dort. Trage auf der obern 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

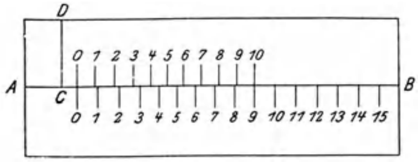

Fig. 8.

Teilung bildet also die Verlängerung von Strich 9 der Zentimeterteilung. Die neue Teilung nennt man einen *Läufer* oder *Nonius*.

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 Läufer längs der Zentimeterteilung. Es entsteht eine Lücke zwischen den Rändern, die vorher in *CD* zusammenfielen. *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 der Abstand zwischen dem Strich 1 des Läufers und dem Strich 1 der Hauptteilung, wenn die Nasen aneinanderliegen? Woran erkennt man, daß die Nasen 0,1 cm voneinander abstehen? Laß die Striche 2, 3, . . . 10 des Läufers der Reihe nach mit den Strichen 2, 3, . . . 10 der Teilung zusammenfallen. Um wieviel Zentimeter steht in jedem einzelnen Fall der Nullpunkt des Läufers von dem Nullpunkte 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.

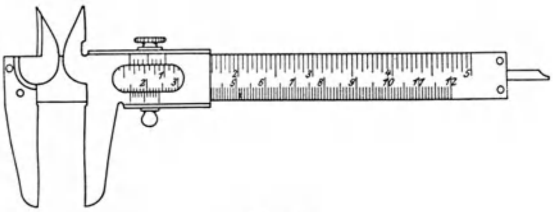

Fig. 9.

e) Miß mit diesem Vorbilde der Schublehre die Durchmesser von Knöpfen, Münzen und andern walzenförmigen Gegenständen.

f) Mache eine Zeichnung der Schublehre (Fig. 9). In welchen Einheiten ist der Stab der Schublehre geteilt? Die Nasen der Schublehre ersetzen die Holzklötze, die wir in Aufgabe 3 benutzt haben. Wieviel Nasen hat die Lehre? Wozu dienen sie?

g) Löse die Befestigungsschraube des Schlittens und sieh zu, ob die Innenflächen der Nasen ganz rein sind; zeige, wenn sie schmutzig sind, 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 Läufers mit dem Nullpunkte 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 Läufers gleich sind? In wieviel Teile ist der Läufer geteilt? Schreibe die

Länge von einem Teil des Läufers auf. Wie weit muß man die sich berührenden Nasen voneinander entfernen, damit der Teilstrich 1 des Läufers mit dem Teilstrich 1 mm der Stabteilung zusammenfällt? Klemme den Schlitten fest und zeige dem Lehrer die Einstellung.

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

i) Verschiebe den Schlitten so, daß die beiden Nullstriche genau 3 mm voneinander abstehen. Wie groß ist der Abstand der Nasen?

k) Wie weit muß man jedesmal den Läufer 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 Lehre 0,1 mm weit. Welche Striche des Läufers und der Teilung fallen zusammen? Welche Striche stehen genau übereinander, wenn der Abstand der Nullpunkte von Läufer 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 Läufers 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 Läufers und der Teilung fallen jedesmal zusammen?

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

o) Bestimme nochmals wie bei (g) den Nullfehler der Schublehre. Löse die Schraube, entferne die Nasen voneinander und schiebe das eine Ende der Walze dazwischen. Drehe die Walze zwischen den Nasen und suche den Durchmesser, der scheinbar der größte ist. Stelle die Walze so, daß ihre 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 die Walze ohne erheblichen Druck noch eben lose gehalten wird. Ziehe die Schraube an und lies an der Hauptteilung die Stellung des Läufernullstrichs ab und dann den Strich des Läufers, 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 Läufer ab.

p) Drehe die Walze um ihre Achse um 90^0 und miß wiederum den Durchmesser.

q) Miß ebenso zwei Durchmesser am andern Ende und zwei in der Mitte der Walze 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 Walzendurchmessers.

s) Miß in ähnlicher Weise an verschiedenen Stellen die Höhe der Walze.

t) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schublehre Nr. . . . . walze 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.

5. Aufgabe. *Wie groß ist der Raum der vorgelegten Kugel?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3 oder 4, doch statt der Walze eine Kugel.

Anleitung. Miß wie bei Aufgabe 3, Verfahren 3 (S. 7), oder wie bei Aufgabe 4 drei Durchmesser der Kugel. Nimm aus den Ergebnissen das Mittel und berechne daraus den Halbmesser (r cm) und den Raum der Kugel

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

6. Aufgabe. *Bestimme mit einer Lochlehre die innere Weite einer Glasröhre und den Durchmesser einer Schrotkugel und mit einem Keilausschnitt die Dicke eines Drahts.*

Geräte. Millimeterpapier. Schere. Lochlehre. Keilausschnitt. Kurze Glasröhren. 2 Glasscheiben. 3 gleiche Schrotkörner. Draht. Spitzer harter Bleistift.

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

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

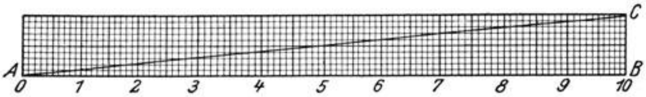

Fig. 10.

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 berechnet y'	y cm gemessen y''	$\Delta = y' - y''$

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

e) Schiebe den Keil (Fig. 11) soweit wie möglich, doch ohne ihn zu verbiegen, so in das Innere einer Glasröhre, daß die Seite AB

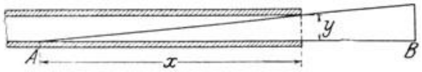

Fig. 11.

an der Glaswand dicht anliegt, lies die Abszisse x ab und berechne daraus die innere Weite y der Röhre. Drehe den Keil in der Röhre und miß noch zweimal den innern 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 der Lehre 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. 12) so in den Keilausschnitt, daß seine Stirnfläche die Hypotenuse berührt, lies die Abszisse x ab

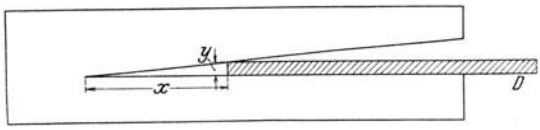

Fig. 12.

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

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

Geräte. Millimeterpapier. Bleistift. Ziehfeder. Tusche. Fischleim oder Klebwachs. Holzwalze. Bunsengestell. Schraube und Mutter. Maßstab. Schublehre.

Anleitung. a) Zeichne auf Millimeterpapier ein Rechteck (10 cm $\times$ 6 cm) und an dessen rechten Rand einen Heftstreifen (Fig. 13). Ziehe in dem Rechteck durch die Punkte C bis G fünf Parallelen zur Längs-

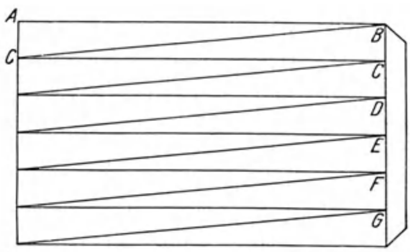

Fig. 13.

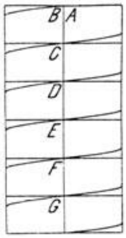

Fig. 14.

seite und in den so entstandenen schmalen Rechtecken die Eckenlinie BC und ihre Parallelen.

b) Schneide die Zeichnung sorgfältig aus und klebe sie als Mantel um die Holzwalze (Fig. 14). Was für eine Linie bilden nun die Eckenlinien? *Schraubenlinie.*

c) Verfolge von B aus rechts herum mit der Bleistiftspitze die Schraubenlinie auf der Walze, ohne dabei das Papier zu berühren. Wo steht nach einem vollen Umlauf die Bleistiftspitze? 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 Umlaufs 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, wonach man sofort angeben kann, um welche Strecke z man bei dem Umlauf u die Bleistiftspitze parallel zur Achse verschiebt?

g) Klemme den Bleistift wagerecht fest, drehe die Walze und verschiebe sie gleichzeitig so in der Richtung ihrer Achse, daß die Bleispitze stets auf der Schraubenlinie bleibt. *Schraubenbewegung.* Um wieviel Zentimeter müssen wir bei jeder vollen Umdrehung die Walze in ihrer Achsenrichtung verschieben? Um wieviel Zentimeter bei einer halben Umdrehung? Kann man durch Zählen der Umdrehungen sofort bestimmen, um wieviel Zentimeter sich die Walze in ihrer Achsenrichtung verschoben hat? *Schraube und Mutter* (Fig. 15). *Gewinde. Ganghöhe.*

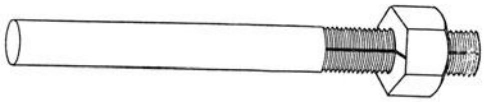

Fig. 15.

h) Schraube die Mutter vom Bolzen ab. Miß auf dem Gewinde den Abstand zweier Marken, wozwischen $\sim$ 10 Windungen liegen, und berechne daraus die Ganghöhe.

i) Schraube die Mutter wieder auf und drehe sie so weit, daß ihre Strichmarke mit einer Strahlmarke 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		$\Delta = z' - z''$
	berechnet z' cm	beobachtet z'' cm	

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

Geräte. Messingdraht. Feinschraubenlehre. Maßstab. Glasröhre.

Anleitung. a) Wickle in dicht aneinanderliegenden Windungen den Draht $\sim$ 10 bis 100mal um einen dünnen runden Stab (Bleistift, Glasröhre u. dgl.). Miß die Länge der so hergestellten Spule und berechne daraus den Durchmesser des Drahts.

b) Nimm die Feinschraube (Fig. 16) in die linke Hand, fasse den geränderten Kopf lose zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand und öffne durch Drehen des Kopfs die *Zähne* der Schraube, doch nicht weiter als $\sim$ 1,5 cm. Sieh zu, ob die Zähne rein sind; wenn nicht, zeige dem Lehrer die Schraube.

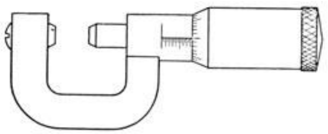

Fig. 16.

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

d) Drehe die Haube (oder Trommel) so, daß ihr Nullstrich mit dem *Zeiger,* d. h. mit dem achsenrechten 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 Feinschraube. 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 ganz zart. Beim Gebrauch der Feinschraube darf man nie Kraft anwenden, da man das Gewinde leicht beschädigen kann. Bei den Messungen drehe man stets erst den Schraubenkopf, bis der bewegliche Zahn mit dem andern Zahn oder mit 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 Nullstrichs 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 andern Stellen des Drahts 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:

Feinschraubenlehre Nr. . . . . . . Draht

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

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

II. Masse und Dichte.

Regeln für das Wägen.

1. Schreibe auf die Karte, die bei der Wage liegt, deinen Namen, die Klasse und den Tag.

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

3. Stelle den Senkel oder die Wasserwage mit den Fußschrauben 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 mit den bloßen Fingern die Schalen oder die Massenstücke.

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

6. Prüfe, ob der Zeiger über dem mittlern 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. Stelle fest, welche Massenstücke der Massensatz enthält. Wiederhole diese Prüfung vor jeder Benutzung und melde sofort dem Lehrer, wenn Massenstücke fehlen. 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 mit der kleinen Greifzange diese Massenstücke, der Größe nach geordnet, aufs 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. Hat die Wage keine Bremsung, so halte beim Aufsetzen von Massen die Schale mit einem Stück Fließpapier oder einem reinen Tuch fest oder unterstütze sie mit dem Pinsel, damit die Wage nicht in Schwingungen gerät.

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

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 kleinern Massenstücke der Reihe nach, ohne eins auszulassen, auf die Schale und entferne ein Massenstück nur dann von der Schale, wenn es zu groß ist. 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 mittlern 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 auf, die auf der Wageschale liegen, und zwar der Größe nach geordnet untereinander. Sieh nach, welche Massenstücke im Kasten fehlen, und ob du sie alle aufgeschrieben hast. Prüfe deine Aufzeichnung nochmals beim Zurücksetzen der Massenstücke und zähle die aufgeschriebenen Massenstücke zusammen.

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 Abgleichen von Gegenständen keine Massenstücke, sondern Schrot, Granaten, Blei- oder Zinnblatt, Papier u. dgl.

Lege die Gegenmassen nie auf die Wageschale selbst, sondern in besondere Abgleichschalen (Schachteldeckel) oder Abgleichbecher.

19. Hat die Wage eine Vorrichtung zum Bremsen, so muß man die Wage jedesmal vor dem Aufsetzen und dem Wegnehmen von Gegenständen und Massenstücken feststellen. Bremse langsam und vorsichtig. Ist das Gleichgewicht noch nicht nahezu erreicht, so genügt schon ein unvollständiges Aufheben der Bremsung 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.

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

Geräte. Wage. Massensatz. Walze.

Anleitung. a) Bestimme mit der Wage die Masse (m gr) der Walze.

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

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

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . . . . walze Nr. . . .

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

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

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

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

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

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, doch Holzklotz statt Walze.

Anleitung. Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9.

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

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, doch Kugel statt Walze.

Anleitung. Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9.

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

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, doch ein Kupferdraht statt der Walze, dazu Beißzange, Feile und Meterstab.

Anleitung. **a)** Miß die Länge (l cm) und wie bei Aufgabe 8 (a) (S. 19) den Durchmesser (d cm) des Drahts.

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

c) Verfahre wie bei Aufgabe 9.

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

(Handbuch S. 25.)

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

(Handbuch S. 26.)

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

1. Verfahren.

Geräte. Wage. Massensatz. Bürette. 2 Bechergläser. Denaturierter Spiritus oder gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat. Trichter. Spiegel oder Ableseklemme. Abgleichschrot. Abgleichbecher. Thermometer. Fließpapier.

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

b) Reinige die Bürette (Fig. 17) und den Trichter 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 abgeglichene 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. Halte beim Einstellen der Wasserkuppe den Spiegel derart lotrecht, daß das Bild der Pupille auf die Marke fällt.

c) Laß in das abgeglichene 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 Warmheit.

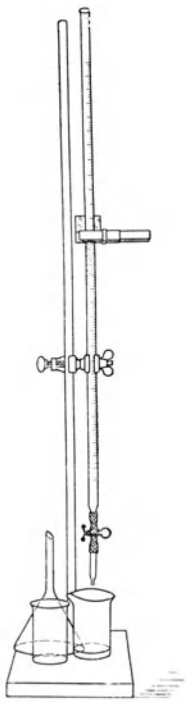

Fig. 17.

e) Wie groß ist die Dichte (ϱ gr/cm³) der Flüssigkeit bei der gemessenen Wärmestufe?

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr.... Massensatz Nr.... Thermometer Nr....
Wärmestufe $t = \ldots {}^0$C. Bürette Nr. ...

1. Ablesung der Bürette ... cm³.
2. Ablesung der Bürette ... cm³.

Raum der Flüssigkeit $V = \ldots$ [cm³].
Masse der Flüssigkeit $m = \ldots$ [gr].
Dichte der Flüssigkeit $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm³].

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

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.

Geräte. Enghalsige Flasche oder Dichtefläschchen (Pyknometer). Wage. Massensatz. Abgleichschrot. Abgleichbecher. Destilliertes Wasser. Flüssigkeiten wie beim 1. Verfahren. Fließpapier. Trichter. Becherglas. Pipette. Thermometer. Spiegel. Pinsel oder Draht.

Anleitung. i) Gleiche auf der Wage das leere Fläschchen sorgfältig ab.

k) Fülle das Fläschchen genau bis zur Marke mit destilliertem Wasser, entferne dabei durch Schütteln oder mit einem Pinsel oder einem Drahte 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 das Fläschchen und die Pipette zweimal mit der gegebenen Flüssigkeit aus. Fülle dann das Fläschchen genau bis zur Marke mit der gegebenen Flüssigkeit, 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 Warmheit der Flüssigkeit.

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

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr.... Massensatz Nr.... Fläschchen Nr....
Thermometer Nr. ... Wärmestufe $t = \ldots {}^0$ C.

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 (g).

r) Verfahre wie bei (h).

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

Geräte. Kieselstein, Schlüssel u. dgl. Wage. Massensatz. Bürette. Spiegel oder Ableseklemme. Becherglas. Standglas. Trichter. Klebpapier.

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

b) Lege den Körper in ein Standglas, das gerade weit genug ist, ihn aufzunehmen. Fülle mit einer Bürette das Gefäß genau bis zu einer Marke mit Wasser und entferne alle Luftblasen. Entleere das Glas und fülle es 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? $V = (V_2 - V_1)\,[cm^3]$.

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

d) Verfahre wie bei Aufgabe 15 (g).

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

Geräte. Dichtefläschchen. Glasschrot (Abgleichgranaten oder Schrot). Abgleichbecher. Abgleichschrot. Fließpapier. Pipette. Becherglas. Destilliertes Wasser.

Anleitung. **a)** Prüfe, ob der Stopfen zum Dichtefläschchen gehört. Gleiche das Pyknometer (Fig. 18) nebst Stopfen auf der Wage ab.

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

c) Fülle das Dichtefläschchen, worin noch das Glasschrot liegt, mit destilliertem Wasser und entferne durch Schütteln oder mit einem Drahte 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 außen sorgfältig ab.

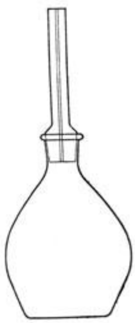
Fig. 18.

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

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 cm³.

g) Beim Versuch (d) enthielt das Dichtefläschchen $(m_1 - m)$ gr Beiwasser. Welchen Raum nahm dies ein? V_1 cm³. Welchen Raum (V cm³) füllte also das Glasschrot, wenn das Dichtefläschchen im ganzen V_2 cm³ faßt? $V = (V_2 - V_1)\,[cm^3]$.

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

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

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

Masse des Glasschrots $m = \ldots$ [gr].
Masse des Glasschrots 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 Glasschrots $V = V_2 - V_1 = \ldots$ [cm^3].
Dichte des Glasschrots $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm^3].

k) Verfahre wie bei Aufgabe 15 (g).

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

18. Aufgabe. *Wie groß ist die Fläche, die ein beliebig gestalteter Umriß einschließt?*

1. Verfahren.

Geräte. Millimeterpapier. Bleistift.

Anleitung. **a)** Zeichne auf ein Blatt Millimeterpapier (10 cm × 10 cm) einen beliebig gestalteten Umriß (Fig. 19).

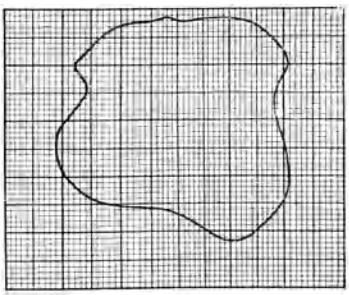

Fig. 19.

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

c) Zähle die kleinen Quadrate (mm^2), die vollständig innerhalb des Umrisses liegen und umfahre auch sie mit dem Bleistift.

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

e) Welcher Bruchteil eines Quadratzentimeters ist ein Quadratmillimeter? Wieviel Quadratzentimeter umgrenzt der Umriß?

2. Verfahren.

Geräte. Wage. Massensatz. Karton oder Zinnblatt. Nähnadel, deren Öhr in Siegellack eingebettet ist, oder Pauspapier oder Kohlepapier oder Graphitpapier. Millimeterstab. 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 die Größe der Fläche, deren Masse 1 gr ist.

b) Lege das Millimeterpapier mit dem Umriß 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 Kartonstücks.

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

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

(Handbuch S. 32.)

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

Geräte. Zinnblatt. Millimeterstab. Eiserner Winkel. Schere. Wage. Massensatz. Feinschraube.

Anleitung. **a)** Schneide aus Blattzinn ein Quadrat von $\sim$ 10 cm Seitenlänge. Miß die Seiten genau und berechne den Flächeninhalt f cm^2.

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

c) Wie groß ist der Raum (V cm^3) des Zinnblatts, wenn seine Fläche f cm^2 und seine Dicke h cm ist?

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

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

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

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

h) Verfahre wie bei Aufgabe 15 (g).

21. Aufgabe. *Wie kann man mit der Wage die Dicke eines Drahts messen?*

Geräte. Kupferdraht. Meterstab. Beißzange. Wage. Massensatz. Feinschraube.

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

b) Wie groß ist der Querschnitt (q cm^2) des Drahts, dessen Halbmesser r cm ist? Wie groß ist der Raum (V cm^3) des Drahts?

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

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

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

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

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

h) Verfahre wie bei Aufgabe 15 (g).

Zweiter Teil.

Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

A. Gleichgewicht der festen Körper.

I. Kraft.

1. Aufgabe. *Wie hängt die Verlängerung einer Spulfeder von der Belastung ab?*

1. Verfahren.

Geräte. Spulfeder. Leichte Wagschale. Maßstab. Ablesespiegel. Gewichtsatz. Pinsel. Bunsengestelle. Klemmschraube. Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Befestige die Spule am Gestell und hänge oder stelle 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 $F_0 = 30$ [gr*], bewege die Hand langsam nach unten und gib so die Schale allmählich frei (Fig. 20). Beruhige mit der Hand oder dem Pinsel die Schwingungen der Spule, halte den Ablesespiegel so, daß das Spiegelbild des Auges mit dem abzulesenden Strich zusammenfällt, und lies die Stelle des Maßstabes ab, vor der der Zeiger der Feder schwebt. (In der Figur ist ein Spiegelmaßstab gezeichnet.) Sollte die Spule noch etwas schwingen, so lies die beiden Umkehrpunkte ab und nimm daraus das Mittel. Die Ablesung liefert die Nullstellung (x_0 cm) des Zeigers für die Grundbelastung (F_0 gr*).

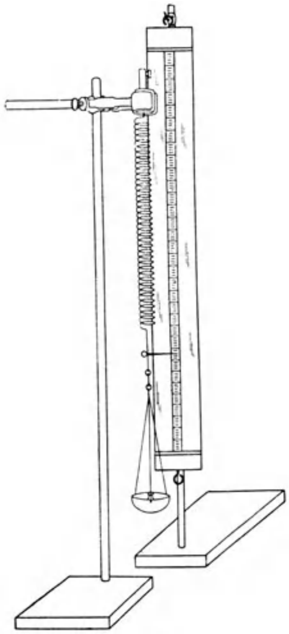

Fig. 20.

c) Lege behutsam ein 5 gr*-Stück hinzu und lies die Stellung (x cm) des Zeigers für die Belastung $F_1 = 35$ [gr*] ab. Der Unterschied der beiden Ablesungen $\lambda = (x - x_0)$ [cm] ist die Längenänderung, die durch die Belastungszulage $F = (F_1 - F_0) = 5$ [gr*] erzeugt worden ist. Nimm das Gewicht weg und lies wiederum die Nullstellung ab. Hat sie sich geändert?

d) Belaste die Schale der Reihe nach mit $F_1 = 40$, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 und 80 [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:

Spulfeder Nr. . . . Kraftwert der Feder $k = \ldots$ [gr*/cm].
Grundbelastung $F_0 = \ldots$ [gr*]. Größte zulässige Belastung . . . gr*.
Schale Nr. . . . Gewicht der Schale . . . gr*.

Belastungs-änderung $F = (F_1 - F_0)$ [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-wert $k = \frac{F}{\lambda}\left[\frac{\text{gr*}}{\text{cm}}\right]$
	vor-wärts	rück-wärts	vor-wärts	rück-wärts	vor-wärts	rück-wärts	Mittel	
Mittel							Mittel	. . . . .
Hauptmittel								

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

h) Welche Belastungsänderung bewirkt eine Längenänderung der Feder um 1 cm? *Kraftwert (Kraftkonstante) der Spule oder Federwert (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.

Geräte. Spulfeder. Holzleiste. Wagschale. Gewichtsatz. Lot. Zeichendreieck. Millimeterpapier.

Anleitung. **k)** Hänge die Spulfeder an den Haken A im Wandbrett (Fig. 21). Bohre bei B in 5 cm Abstand vom Ende D ein 2 mm weites Loch in die Leiste, und befestige sie an der Feder mit einem Stahldraht, der durch das Loch geht. Hänge im Punkt C, der 1 cm von D absteht, die Wagschale 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.

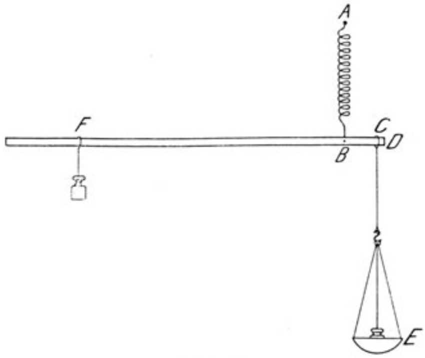

Fig 21.

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 lote 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 ermittle daraus die Arbeit, die zur Verzerrung der Feder verbraucht worden ist.

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

(Handbuch S. 39.)

3. Aufgabe. *Bestimme die Fehler einer Federwage.*

Geräte. Federwage bis 10 kg*. Wageschlitten. Wagschale. Gewichtsatz. Streifen aus dünnem Messingblech. Bunsengestell oder Zwinge mit Haken. Tafelwage. Schrot, Zinn- oder Bleiblatt. Millimeterpapier. Papier. Schere. Klebwachs.

Anleitung. **a)** Biege das Messingblech (Fig. 22) längs DD um und drücke es so zurecht, daß es das Gehäuse der Wage umfaßt und an jeder Stelle 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. 23). Liegt der Zeiger über dem Nullstrich, so ist der Fehler

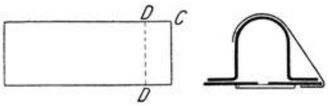

Fig. 22.

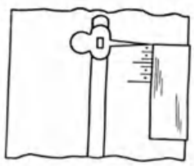
Fig. 23.

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, Zinn- 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 jedesmal wie in (c) den Fehler nach Sinn und Größe.

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. . . . Wagschale 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 bildlich 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 sie wagrecht 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 der auf dem Tisch liegenden Wage eine Schnur, führe diese über eine leicht laufende Rolle und belaste sie so stark, 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 mit ihrem Haken nach oben, und hänge sie an eine andere g l e i c h e Wage, die die gewöhnliche lotrechte Stellung hat. Die Feder der obern Wage wird vom Gewicht ihrer Stange und ihres Hakens, außerdem vom Gewichte der ganzen untern Wage, d. h. vom Gewichte des Gehäuses, der Stange und des Hakens dieser Wage gespannt. Die Feder der untern 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 Unterschiede 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. Verfahre dabei wie in (g).

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.

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

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

Geräte. Verzinkter Eisendraht. Bügel mit durchbohrtem Querstab. Keil. Hammer. Tiefenlehre mit Ansatz Feinschraubenlehre. Millimeterpapier. Wagschale. Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2, 5, 10, 20 und 20 kg*. Millimeterstab. Tafelwage. Gewichtsatz. Drahtzange. Beißzange. Kasten mit Sägemehl. Schnittbrenner. Gasschlauch.

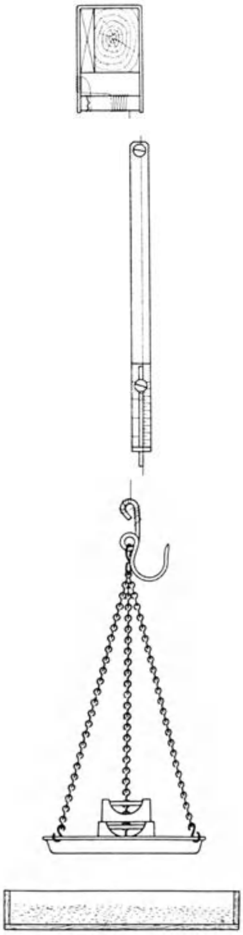

Fig. 24.

Anleitung. **a)** Befestige mit einem Keil den Bügel an einem Wandgalgen. Wickle das eine Ende des Drahts mehrmals um den runden Querstab des Bügels, zieh es dann durch das Loch des Querstabes, winde es nunmehr um einen Schenkel des Bügels und binde es schließlich an dem Querstab fest (Fig. 24).

b) Wickle das untere Drahtende mehrmals um den Haken der Wagschale 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 Feinschraubenlehre an verschiedenen Stellen in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen den Durchmesser des Drahts. Vgl. Teil 1, Aufg. 8, S. 15.

d) Sieh nach, ob der Draht ganz gerade hängt und frei von scharfen Biegungen und Schleifen ist. Befestige die Tiefenlehre so an dem Drahte, daß der Abstand zwischen der Schraube des Läufers und der obern Schraube des Messingstreifens genau 25 cm ist, und lies den Läufer ab.

e) Lege langsam und sorgfältig Gewichte in Stufen von 5 kg* bis zu der Gesamtbelastung 10 kg* auf die Schale und lies nach jeder Belastungsänderung den Läufer ab.

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

g) Setze die Gewichte genau wie vorher wieder auf die Schale, lies jedesmal den Läufer ab und steigere die Belastung in Stufen von 5 kg* auf 20 kg*.

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

i) Lege die Gewichte genau wie vorher wieder auf, lies jedesmal den Läufer 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 Läufer andauernd recht sorgfältig, damit du die Ausdehnung bei der letzten Belastung noch ablesen kannst. Beachte, daß die *Bruchbelastung* gleich ist der Summe von dem Gewicht der Wagschale und den Gewichten auf der Schale.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

.... Draht von ... mm Durchmesser. Querschnitt $q = \ldots$ [mm²].

Länge des Drahtstücks, dessen Ausreckung gemessen wird, $l = \ldots$ [mm].

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

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

Federgrenze (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 gerade vor dem Zerreißen in Hundertstel der ursprünglichen Länge $= \ldots$ %.

l) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei $x = \lambda$ und $y = p$. Bis zu welcher Belastung verläuft die Kurve nahezu geradlinig? *Gleichmäßigkeitsgrenze (Proportionalitätsgrenze).* Wie verläuft die Kurve weiterhin? Nahm der Draht, solange er noch nicht bis zur Gleichmäßigkeitsgrenze belastet worden war, bei der Entlastung seine ursprüngliche Länge wieder an? *Federnd (elastisch).* Nahm der Draht, nachdem er über seine Gleichmäßigkeitsgrenze 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, (Beanspruchung). Längenänderung, Dehnung. Bruchbelastung, Zerreiß- oder Zugfestigkeit. HOOKEsches Gesetz. Federmaß (Elastizitätsmodul). Federgrenze (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.

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

(Handbuch S. 47.)

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

Geräte. Verzinnter Eisendraht. Tiefenlehre ohne Ansatz. Wagschale. Feinschraubenlehre. Bandmaß. Vergrößerungsglas. Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2, 2, 5, 5, 10 kg*. Millimeterpapier.

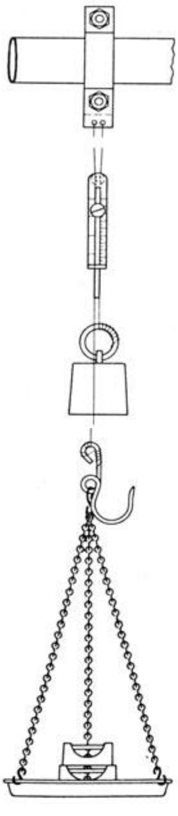

Fig. 25.

Anleitung. a) Hänge am Deckenhaken oder an der Schelle des Deckenbalkens in $\sim$ 1 cm Abstand zwei Drahtstücke nebeneinander auf. Befestige den einen Draht an dem geteilten Stab und den andern Draht an dem Läufer der Tiefenlehre. Spanne den ersten Draht mit einem 2 kg*-Stück dauernd straff und hänge an den andern Draht, den Meßdraht, die Wagschale (Fig. 25).

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 mit 12 kg*. Entferne aus der Schale die Belastung bis auf 4 kg*. Lies mit dem Vergrößerungsglas sorgfältig den Läufer ab und schätze dabei die Zehntel eines Läuferteils.

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 Läufer ab.

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

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

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

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

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

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

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

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

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

l) Wie verhält sich die Spannung zur Dehnung? *Federmaß (Elastizitätsmodul) E. Dehnzahl (Dehnungskoeffizient)* $\alpha = 1/E$. *Hooke-sches Gesetz.* Wie groß ist das Federmaß des Drahts, in kg*/mm² und in Dyne/cm² gemessen?

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?*

Geräte. 2 Rollen. Gewichtstücke mit Ringen von 1, 1, 5 kg*. 2 Scheibengewichte von 0,5 kg*. Bindfaden oder Angelschnur. 3 Zug-Federwagen bis 4 kg*. 1 Druck-Federwage. Haken. Messingring. Schere. Nägel. Hammer. Holzklotz.

Anleitung. a) Befestige am Wandbrett oder an dem 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, zieh 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 bei dem Sinken, wie bei dem Steigen des Gewichts, und nimm aus beiden Ablesungen das Mittel. Verbessere die Ablesung der Wage unter Berücksichtigung ihrer Lage. Hat sich nur die Pfeilrichtung der Kraft geändert?

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

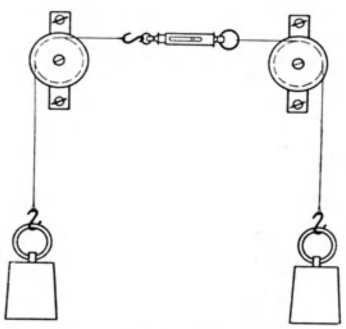

Fig. 26.

d) Befestige zwei Rollen so nebeneinander, daß ihre Rinnen in einer Ebene liegen und ein darüber gespannter Faden wagerecht sein würde (Fig. 26). 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. Zieh einigemal schwach an den Schnüren, 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 etwa beobachtete Unterschiede erklären?

f) Bilde aus drei Federwagen eine Kette 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 an dem 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, zieh 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 Ring 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).

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

1. Verfahren.

Geräte. Kautschukschnur. Stecknadeln. Vollständige Zeichenausrüstung. Schere. Faden. Bunsengestell. Leichte Schale. Gewichtsatz.

Anleitung. a) Binde zwei 16 cm lange Stücke derselben Kautschukschnur in der Mitte zusammen, miß vom Knoten O (Fig. 27) aus auf jedem Schnurteil die gleiche Länge ab, sagen wir 5 cm, und stecke durch das freie Ende jeder Strecke eine Nadel. Befestige an den vier Nadeln kleine Zettelchen mit den Buchstaben A, B, C und D.

b) Hefte auf das Reißbrett einen Bogen Papier und stecke die Nadeln A und B so in das Brett, daß die Schnur zwar gerade gezogen, doch nicht gespannt wird. Zieh 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 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) Zieh den Faden OC nach einer bestimmten Richtung und stecke die Nadel C in das Brett (Fig. 28). Mache an der Stelle, worüber der Knoten O liegt, mit einer Nadel einen Stich, umringle ihn und schreibe den Buchstaben O daran. Nimm die Nadeln A und B heraus, umringle die Stichstellen und schreibe die Buchstaben A und B daran. Zieh am Faden OD, bis der Knoten wieder über der frühern 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 trage 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. Mach 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 Eckenlinie, die durch

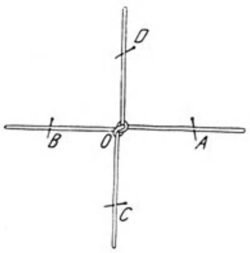

Fig. 27.

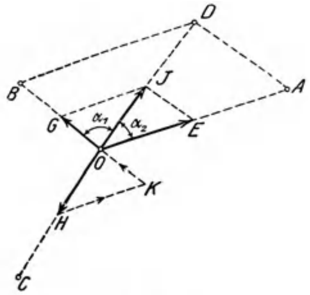

Fig. 28.

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 Wagschale und lege Gewichte darauf, bis die Schnur, die gerade untersucht wird, sich zu der Länge ausreckt, die sie bei ihrer Ausspannung auf dem Reißbrett hatte. 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 den Kraftwert (vgl. Aufg. 1 S. 25).

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°, 90° und 120° 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 Seiten des Parallelogramms sind bei der Auffindung der Gesamtkraft eigentlich entbehrlich?

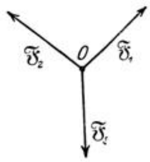

Fig. 29.

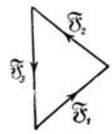

Fig. 30.

i) Verlängere in der Fig. 28 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. 29) entspricht das *Krafteck* (Fig. 30). Zeichne die Kraftdreiecke, welche den bei den Versuchen (g) gewonnenen Lagebildern entsprechen.

k) Stecke die Nadeln der Schnur CD (Fig. 28) in das Reißbrett und spanne dabei die Schnur. Bezeichne 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, wo der Knoten O seine ursprüngliche Lage wieder einnimmt. Auf wieviel Weisen kann man eine gegebene Kraft zerlegen?

2. Verfahren.

Geräte. 2 Rollen. 3 weiche biegsame Schnüre aus Seide. Vollständige Zeichenausrüstung. Messingring. 3 kleine Haken. Wagschale. Ringgewichtstücke von 1 und 2 kg*, dazu 0,5 kg*. Gewichtsatz. Vorstecher. Talg. Garn. Schere. Schrot. Ablesespiegel.

Anleitung. l) Wäge die Wagschale, 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 Wandbretts 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 Wagschale und lege so viele Gewichte darauf, daß die Gesamtbelastung 1,250 kg* beträgt (Fig. 31). 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 unterlegen und das Auge so halten, daß sich die Schnur und ihr Bild decken. Man mache 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 beiden Punkte bestimmt wird.

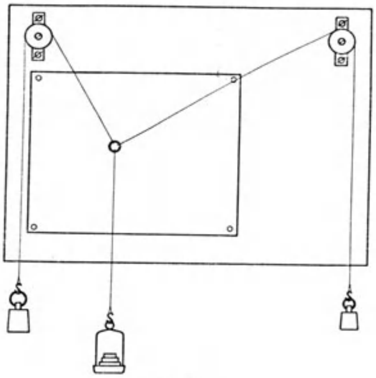

Fig. 31.

n) Nimm den Papierbogen ab und ziehe ganz fein die drei Geraden, welche die Richtungen der drei Schnüre angeben. Schneiden sie sich in einem Punkt? Ist es nicht der Fall, so bezeichne die Mitte O des entstandenen kleinen Dreiecks durch einen Punkt und verbinde ihn sehr sorgfältig mit den entfernten Punkten A, B und C unter den drei Schnüren (Fig. 28). 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 Eckenlinie OJ und miß ihre Länge. Wie groß ist die so 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 $\alpha_3 = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$.

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wagschale 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* (oder 1 kg* und 2 kg*) und die Mittelschnur mit 1,5 kg* (oder 2,5 kg*) und verfahre wie bei den Versuchen (m) bis (q). Wird der Satz von dem Parallelogramm der Kräfte bestätigt?

s) Verfahre mit den Zeichnungen, die bei den Versuchen (n) bis (r) erhalten worden sind, wie in (i). Lege unter die Zeichnungen ein andres 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 gleich 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) Ermittle 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. 32), das bei Versuch (n) erhalten wurde, durch den Punkt O ein rechtwinkliges Achsenkreuz. Lote 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 Seitenkräfte

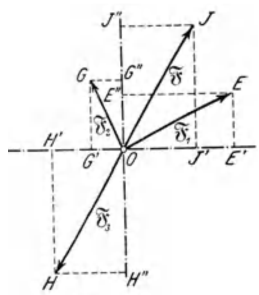

Fig. 32.

$$\mathfrak{X}_1,\ \mathfrak{X}_2,\ \mathfrak{X}_3,\ \mathfrak{X}$$
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 Ablotungen der Seitenkräfte und der Mittelkräfte 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.

Geräte. 3 Federwagen bis 4 kg*. 3 Angelschnüre. Messingring. Ablesespiegel. Schlitten. 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 Reißbretts so fest, daß die Schlitze in den Schnurrichtungen liegen. Hefte unter dem Ring ein Blatt Papier mit Reißnägeln fest (Fig. 33). 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. 29.)

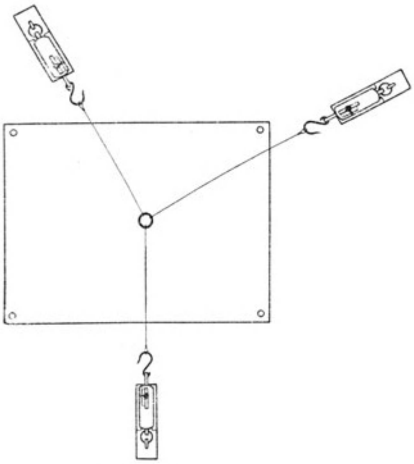

Fig. 33.

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	$\frac{F_1}{\sin \alpha_1}$	$\frac{F_2}{\sin \alpha_2}$	$\frac{F_3}{\sin \alpha_3}$
Zeiger-ablesung	Verbesserte Größe	Zeiger-ablesung	Verbesserte Größe	Zeiger-ablesung	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).

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.*

(Handbuch S. 61.)

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.*

Geräte. 2 Hakenschrauben. 2 Federwagen bis 10 kg*. Ringgewicht von 5 kg*. Angelschnur oder Bindfaden. Messingring. Lot. Garn. Schere. Vollständige Zeichenausrüstung. Millimeterpapier. Maßstab. Spiegelstreifen. Vorstecher. Talg.

Anleitung. a) Hänge das 5 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 Wage dieses Meßbereichs kann man die Bestimmung des Gewichts F_1 kg* nicht ausführen.)

b) Schraube in die linke obere Ecke des Wandbretts einen Haken A (Fig. 34) und hänge daran ein Lot und mit einem kurzen Faden den Ring der einen Federwage. Binde das eine Ende einer langen zweiten Schnur, die durch den kleinen Messingring O gezogen worden ist, an den Haken dieser Federwage und das andere Ende B an 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. Dieser ist so in das Wandbrett eingeschraubt, daß jene Seitenschnüre nahezu wagerecht liegen, wenn der Messingring einige Dezimeter über dem Gewichtstück liegt.

c) Zeichne sorgfältig auf einem Bogen Papier mit einem spitzen harten Blei 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 von dem Scheitel E des rechten Winkels absteht.

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. Bezeichne unter Benutzung des Einstellspiegels die Richtung des Schnurteils AO durch zwei Punkte, wovon der eine nahe bei dem Ring O und der andere nahe bei dem Haken der obern Wage liegt.

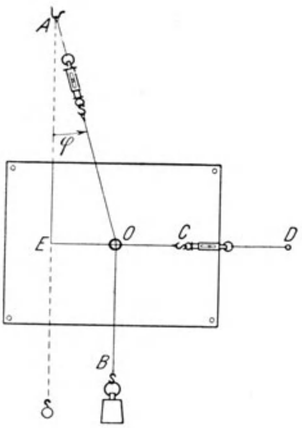

Fig. 34.

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

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 den Kraftpfeil $\mathfrak{F}_1$ darauf 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 bildlich 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. Lote die Kräfte auf beide Achsen, miß die in jene Richtungen fallenden Seitenkräfte 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	Aus der Zeichnung	Abgelesen	Verbessert	Mittel
abgelesen	verbessert	abgelesen	verbessert					

F_3 kg*				AE cm	EO cm	OA cm	$\frac{AE \text{ cm}}{F_1 \text{ kg*}}$	$\frac{EO \text{ cm}}{F_2 \text{ kg*}}$
Aus der Zeichnung	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
	Aus der Zeichnung	Berechnet	Aus der Zeichnung	Berechnet			
Mittel	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .			

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

Geräte. 2 kleine Wagschalen. Kleine Rolle. Nägel. Hammer. Korke. Gewichtsatz. Schrot. Wage. Spiegelstreifen. Garn.

Anleitung. a) Zieh auf einem Bogen Papier etwas unter der Mitte eine Gerade EC (Fig. 35) und dazu am linken Rande mit großer Sorgfalt eine Senkrechte EA. Halte den Bogen auf das Wandbrett, schlage im Punkt A einen kleinen Nagel ein, hänge daran einen Faden AB, der eine kleine Schale trägt, und bringe deren Gewicht durch hineingelegtes Schrot auf $F_1 = 20$ [gr*]. 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. 36) zwischen zwei Korkscheiben, stecke einen Nagel hindurch und schlage ihn etwas unterhalb des Punkts C so in das Wandbrett, daß

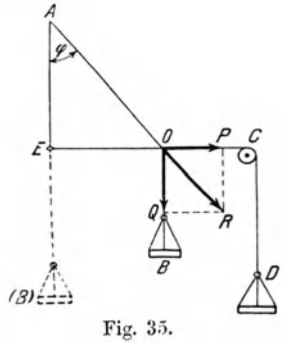

Fig. 35.

der Boden der Rollenrinne in die Höhe der Geraden EC kommt. Binde das Ende eines zweiten Fadens OC in einer Schleife O um den Faden AB, lege jenen Faden über die Rolle und hänge an sein andres 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. Benutze 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.

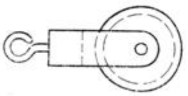

Fig. 36.

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

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

(Handbuch S. 67.)

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?*

Geräte. 2 Federwagen bis 4 kg*. Ringgewicht von 2 kg*. Holzstab. Dünner Bindfaden. Vollständige Zeichenausrüstung. Stahlwinkel. Kleine Fahrradkugel. Papier. Meterstab. Hakenschrauben.

Anleitung. **a)** Hänge an einen dünnen Bindfaden, 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 Wandbretts einen Haken ein. Knüpfe das eine Ende eines dünnen Bindfadens, der 10 bis 15 cm lang ist, an diesen Haken und das andere Ende an den Ring der einen Federwage. Binde 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, also der Stab auf der Wand genau senkrecht steht.

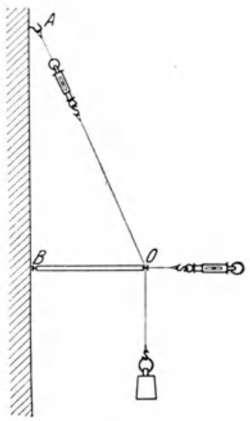

Fig. 37.

c) Im Punkt O (Fig. 37) 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 Auflagedruck 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 Seitenlängen des Dreiecks OAB oder eines ihm ähnlichen Dreiecks. Beachte dabei, daß A der Punkt ist, wo die 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 die Kraft F_2 kg*. Man bringt daran die Verbesserung an, die wegen der wagerechten Stellung der Wage erforderlich ist.

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

g) Ist das angehängte Gewicht im Vergleich zum Gewichte des wagerechten Stabes nicht sehr groß, so muß man dieses berücksichtigen. Die Wirkung des Gewichts F_s kg* des Stabes ist so groß wie die Wirkung eines gewichtlosen Stabes, der am Ende mit dem Gewicht $\frac{1}{2} F_s$ kg* belastet wird. Man muß also, wenn dies notwendig ist, die Kraft F_1 um $\frac{1}{2} F_s$ 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. Lote 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 Seitenkraft (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 φ	cos φ	F_1 kg*	
					Abgelesen	Verbessert

F_2 kg*		F_3 kg*		F_3 cos φ	F_3 sin φ
Abgelesen	Verbessert	Abgelesen	Verbessert		
				Mittel	. . . .

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

Geräte. Dachstuhl. Feste Angelschnur. Ringgewicht von 10 kg*. Federwage bis 10 kg*. Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Verbinde Ring und Haken der Federwage durch feste Schnüre 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. 38), lies in der üblichen Weise die Federwage ab und verbessere die Ablesung. Miß den Dachstuhl aus und zeichne das Lagebild (Fig. 39*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 $^1/_2$ 𝔉 des Daches ist (das Gewicht des Stuhls wird vernachlässigt), die Druckkraft des schrägen Stabes (1)

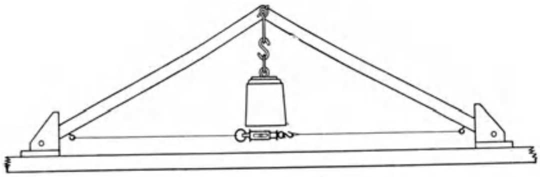

Fig. 38.

und die Zugkraft der wagerechten Schnur (2). Von der Auflagedruckkraft sind Größe und Richtung und von den Kräften 1 und 2 die Richtungen bekannt. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *I* (Fig. 39*b*).

d) Im Knoten *II* des Dachfirstes greifen drei Kräfte an: die Belastung 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. 39 *c*).

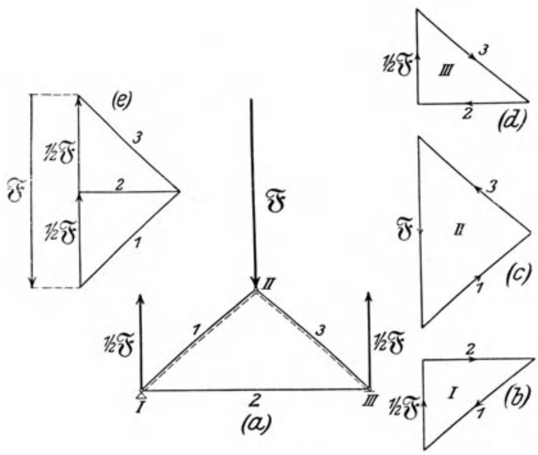

Fig. 39.

e) Am Knoten *III* wirken drei Kräfte, ähnlich wie am Knoten *I*. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *III* (Fig. 39*d*).

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. 39 *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.

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

Geräte. Schiefe Ebene. Kleines Brett. Zwinge. Große Gewichtstücke oder Bunsengestell mit Rolle und Ring. Wagen. 2, 2 und 5 kg*-Stück mit Stabgriff. Lot. Winkelmesser. Vollständige Zeichenausrüstung. Feste Angelschnur oder Bindfaden. 2 Bunsengestelle mit Rollen. 2 Wagschalen. Gewichtsatz. Endmaßstab. Millimeterpapier. Rahmen aus Eisendraht. Garn. Schere.

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

b) Stelle an der Tischkante mit untergeschobenen Gewichtstücken die *schiefe Ebene* unter einem *Neigungswinkel* von $\sim 20^0$ so auf, daß ihre Längskante ein wenig über die Tischkante vorsteht (Fig. 40).

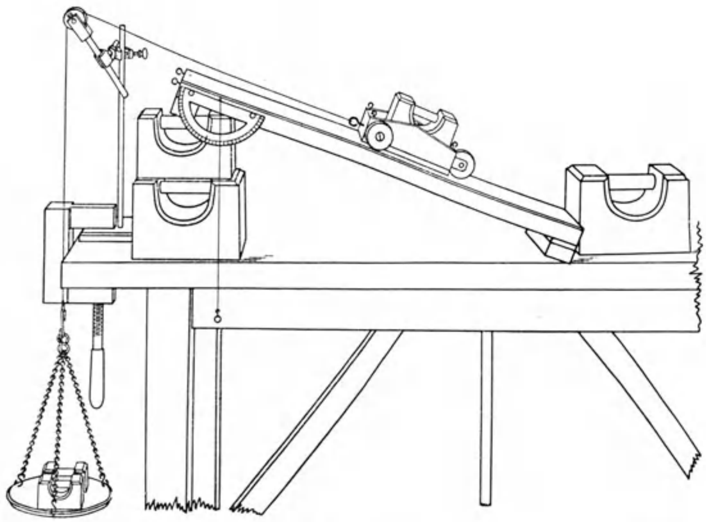

Fig. 40.

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 über den anstoßenden Tischrand so weit hinausragt, daß sich später der lotrechte Teil der Schnur frei bewegen kann. Hefte längs dem Strich oben an der Seite des Bretts mit Reißnägeln den Winkelmesser so an, daß sein Durchmesser genau mit dem Strich zusammenfällt und sein Mittelpunkt dicht unter dem kleinen Stift liegt. 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 Wagschale. Stelle die Rolle so ein, daß die Schale frei hängt, das Schnurstück zwischen Wagen und Rolle der schiefen Ebene gleich 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 aufs Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinauf bewegt. Das in die Schale gelegte Gewicht sei F_o kg*. Nimm so viele Gewichtstücke weg, daß sich der Wagen, wenn man leise aufs Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinab bewegt. Die Belastung der Schale sei diesmal F_u kg*.

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* von dem Gewicht f_l kg* des Wagens und von 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*.

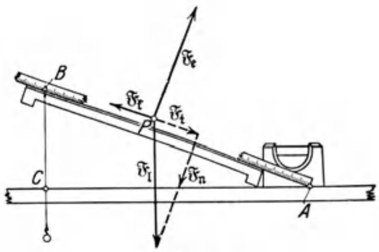

Fig. 41.

f) Lege einen Endmaßstab mit der geteilten Kante so auf den vordern Rand der schiefen Ebene, daß das eine Ende im Punkt A (Fig. 41) die Tischfläche berührt. Merke diesen Punkt an 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 Punkts C von der obern Kante des Bretts, $CB = h$ cm, und dann noch $AB = l$ cm. Statt des Lots 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 Schwerpunkts des belasteten Wagens hat, und trage daran mit dem Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 2 cm die beiden Kraftpfeile $\mathfrak{F}_k$ und $\mathfrak{F}_l$ an. Ist der Wagen in den Pfeilrichtungen der Kräfte $\mathfrak{F}_k$ und $\mathfrak{F}_l$ beweglich? Zerlege die Kraft $\mathfrak{F}_l$ in zwei Seitenkräfte: $\mathfrak{F}_t$ parallel zur schiefen Ebene und $\mathfrak{F}_n$ senkrecht dazu. Vergleiche die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte $\mathfrak{F}_k$ 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 von den Kräften $\mathfrak{F}_l$, $\mathfrak{F}_t$ und $\mathfrak{F}_n$ gebildet wird. Zeichne das so durchgepauste Dreieck, schneide es aus und lege es so auf das Dreieck ABC, 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, α, $\mathfrak{F}_t$ und $\mathfrak{F}_l$? Ist es notwendig, b, h und l zu messen, wenn man bereits α mit dem Winkelmesser bestimmt hat?

g) Wie wirkt die Teilkraft $\mathfrak{F}_n$ auf den Wagen ein und wie dieser auf die schiefe Ebene? 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 Teilkraft $\mathfrak{F}_n$ des Gewichts $\mathfrak{F}_l$. Zeichne die Ersatzkraft $\mathfrak{F}_e$ in das Lagebild ein. Lote 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 die Gleichgewichtsbedingung für den Wagen auf der schiefen Ebene auch 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*]. Wagschale Nr. ... Gewicht der Schale $f_k = \ldots$ [kg*].

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

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

Arbeits-aufwand $F_k \cdot l$ kg* cm	Arbeits-leistung $F_l \cdot h$ kg*cm	Arbeits-gewinn $F_k \cdot l - F_l \cdot h$	Widerstand der Reibung $F_r = \frac{1}{2}(F_o - F_u)$ [kg*]	Arbeits-verlust durch Reibung $F_r \cdot l$ kg* cm	Gesamter Arbeits-aufwand $F_a \cdot l$ kg* cm	Mechanischer Wirkungs-grad $\eta = \frac{F_l}{F_a} \cdot \frac{h}{l}$
	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 Zentimeter 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 Reibungswiderstand, 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 Neigwinkeln 30°, 45° und 60°. Stelle die Ergebnisse bildlich 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 $\sin\alpha$?

IV. Reibung.

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

Geräte. Reibbrett. Schlitten. Universalrolle. Wagschale. Seidenschnur oder Angelschnur. Feines Sandpapier. Millimeterpapier. Scheibengewichte von 0,01 bis 0,5 kg.* Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 5, 10 und 10 kg*. Wasserwage. Keile. Öl. Wage.

Anleitung. **a)** Reibe mit feinem Sandpapier das Reibbrett und den Schlitten sorgfältig ab. Klemme die Zwinge der Universalrolle an den Rand des Tisches und schiebe das eine Ende des Reibbretts dicht an die Zwinge (Fig. 42). 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 hinteres Ende. Öle die Rolle und sieh nach, ob sie sich ganz frei bewegt und ob die Wagschale freien Spielraum hat.

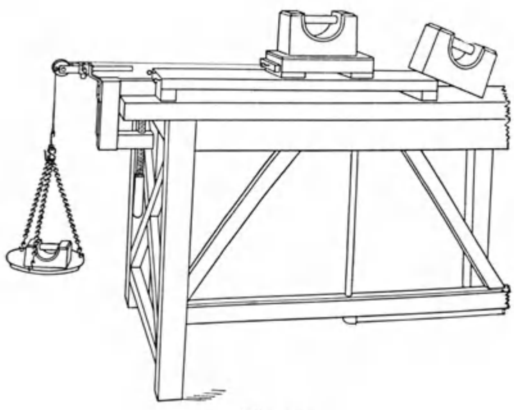

Fig. 42.

b) Wäge den Schlitten nebst Deckplatte und die Wagschale.

c) Setze den Schlitten auf den hintern Teil des Reibbretts, lege die Schnur über die Rolle und hake die Wagschale an. Stelle die Rolle so, daß die Schnur parallel der Längsachse des Bretts 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. *Reibkraft.* 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:

. . .-Reibbrett 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 $f_r = \ldots$ [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*			Haftreibung $F_s = (f_r + F_s')$ [kg*]
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

g) Stelle die Ergebnisse bildlich 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 Reibbretts 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*			Gleitreibung $F_k = (f_r + F_k')$ [kg*]
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

k) Stelle die Ergebnisse bildlich 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, Haftreibung oder stationäre Reibung. Reibung der Bewegung, Gleitreibung oder kinetische Reibung.* Bei den folgenden Versuchen wird stets nur die gleitende Reibung der Bewegung untersucht.

17. Aufgabe. *Ändert sich die Gleitreibung zwischen Holz und Holz mit der Aufdruckkraft?*

Geräte wie bei Aufgabe 16, dazu Stabgewichte 1, 2, 2 kg* und schwarzes Garn.

Anleitung. a) Verfahre genau wie bei Aufgabe 16 (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:

... Reibbrett 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*		Aufdruckkraft $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale F_g' kg*			Gleitreibung $F_g = f_g + F_g'$	Reibzahl $\frac{F_g}{F_n}$
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel		

Mittel $\mu = \ldots\ldots$

c) Ändert sich die Kraft der Gleitreibung mit der Aufdruckkraft? Wie groß würde bei jedem Versuch die Gleitreibung sein, wenn die Aufdruckkraft nur 1 kg* wäre? Ist das Verhältnis F_g/F_n überall das gleiche?

d) Stelle die Ergebnisse bildlich 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. Kennzeichne 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 Aufdruckkraft und Gleitreibung dar. Welche Bedeutung hat der Tangens des Neigungswinkels? Berechne den Mittelwert μ der Verhältnisse F_g/F_n und vergleiche ihn mit dem Tangens. *Zahl (Koeffizient) der Gleitreibung.*

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

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:

Aufdruckkraft F_n kg*	Reibung F_g kg*		Reibzahl μ	
	Große Fläche	Kleine Fläche	Große Fläche	Kleine Fläche
		Mittel	....	.....

d) Hängt die Reibzahl von der Größe der Gleitfläche ab?

2. Verfahren.

(Handbuch S. 82.)

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

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

Anleitung. **a)** Lege das Reibbrett 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. 43). Stelle ein Gewichtstück vor das untere Ende des geneigten Bretts und hindere es so am Ausgleiten.

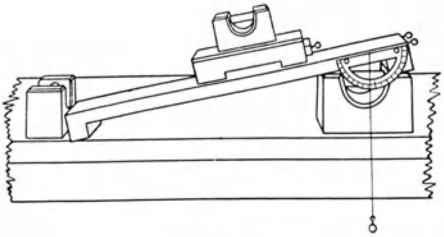

Fig. 43.

b) Setze den Schlitten auf das obere Ende des Bretts, belaste ihn mit 5 kg*, binde das Gewichtstück an dem Ringe des Schlittens fest und vergrößere oder verkleinere durch Verschieben des untergelegten Gewichtstücks nach innen oder außen den Neigwinkel, bis sich der Schlitten mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinabbewegt, wenn er mit der Hand schwach angestoßen wird.

c) Bestimme den Neigwinkel ϱ der schiefen Ebene wie in Aufgabe 15 (b) und (f).

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

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

.... Reibbrett Nr. ... . Schlitten Nr. ...
Gewicht des Schlittens $f = \ldots$ [kg*].

Belastung des Schlittens F' kg*	Gewicht von Schlitten und Belastung $F = f + F'$	Grundlinie b cm	Höhe h cm	β	Reibwinkel 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 Teilkräfte, 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 die Zahl der Gleitreibung $\mu = F_g / F_n$? Berechne aus den Versuchsergebnissen tg ϱ und daraus als Mittelwert die Zahl der Gleitreibung.

g) Der belastete Schlitten drückt senkrecht auf die schiefe Ebene, und diese übt auf den Schlitten einen Druck aus, der ebenso groß, aber entgegengesetzt gerichtet ist. 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. Lote in dem Lagebilde 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 $\mathfrak{F}_c$. Kommt in dem Dreieck der Reibwinkel ϱ vor? Entnimm aus dem Dreieck die Größe von F_g und F_n und berechne daraus die Zahl der Gleitreibung.

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?*

Geräte. 2 Rollen. Angelschnur. Scheibengewichte von 0,5 kg*. Ringgewichte von 1,1,2 kg*. Unregelmäßig gestaltete leichte Scheibe aus Pappe oder Holz. Vollständige Zeichenausrüstung. Kleine Spiegelstreifen.

Anleitung. a) Befestige wie in Aufgabe 8 (S. 38) am Wandbrett zwei Rollen (Fig. 44). Fädle durch die Scheibenlöcher 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, lege wie in Aufg. 8 mit einem Spiegel die Richtung jeder Kraft fest und schreibe an jede Wirkungsgerade die Größe der Kraft.

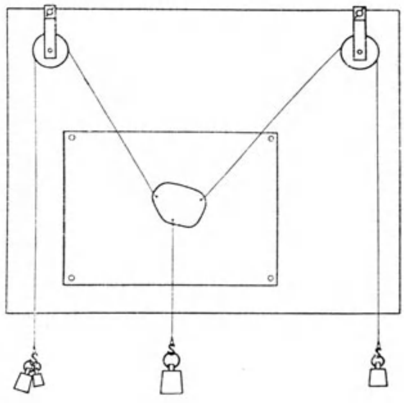

Fig. 44.

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*		
	durch Zeichnung bestimmt	Gewicht	Unterschied	durch Zeichnung 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?

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?*

Geräte. Holzstab. Schraubenhaken. Angelschnur. 2 Federwagen bis 4 kg*. 3 Federwagen bis 5 kg*. Ringgewichte von 1 und 2 kg*. Spiegelstreifen. Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Schraube an dem obern Rande des Wandbretts zwei lange Haken in dem Abstand ein, der gleich der Entfernung der Stabösen 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. 45 abgebildet ist. Stab, Wagen, Schnüre und Gewichte dürfen das Brett nicht berühren.

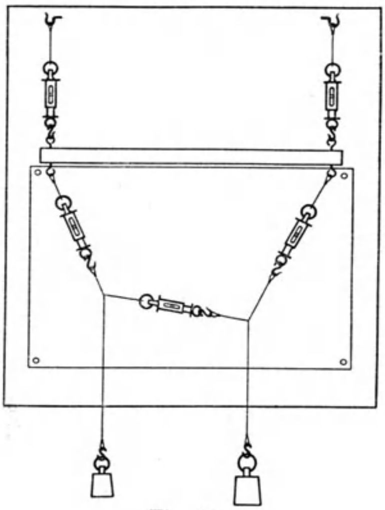

Fig. 45.

b) Hefte hinter den Schnüren einen Bogen Papier auf das Wandbrett und lege darauf mit dem Spiegel die Richtungen der Schnüre und des Stabes fest. Klopfe gegen die Wagen, lies daran die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne wie in Fig. 46 a das Lagebild im Längenmaßstab 1 cm $\sim$ 1 mm und im Kräftemaßstab 1 kg* $\sim$ 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 Gewichts kennt, so kann man mit den zugehörigen Kräftedreiecken die Zugkräfte in den Schnüren finden. Zeichne das Krafteck für den Knoten A_1 (Fig. 46 *b*) und für den Knoten A_2 (Fig. 46 *c*). In Fig. 46 *b* stellen $\mathfrak{S}_1$ und $\mathfrak{S}_2$ die Zugkräfte in den Schnüren s_1 und s_2 und in Fig. 46 *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 46 *f*). Eine solche Darstellung erspart das doppelte Zeichnen des Kraftpfeils $\mathfrak{S}_2$ und ist deshalb den beiden getrennten

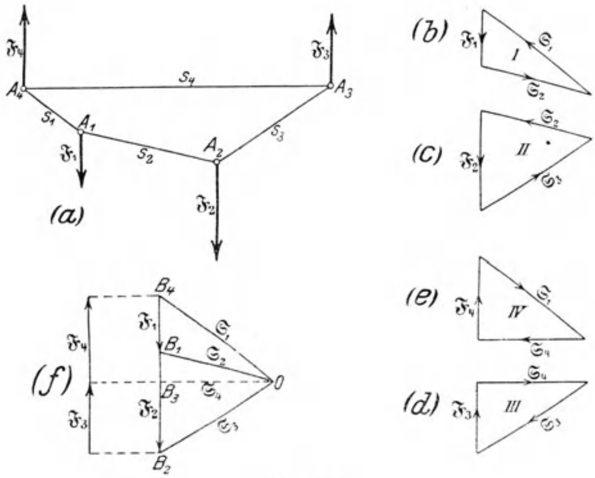

Fig. 46.

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

Das Lagebild (Fig. 46 a) nennt man ein *Seileck* und die Strecke s_4 seine *Schlußseite.* Die Fig. 46 f ist der *Kräfteplan, 0* 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. 46 *b* und *c*. In Fig. 46 *d* stellt $\mathfrak{S}_3$ die Zugkraft in der Schnur s_3 dar; $\mathfrak{S}_4$ und $\mathfrak{F}_3$ laufen parallel zu s_4 und F_3. Ähnlich ist Fig. 46 *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. 46*f*) eine Gerade parallel zu s_4. Vergleiche die Dreiecke Fig. 46*d* und OB_2B_3, ferner Fig. 46*e* und OB_3B_4 miteinander. War es überflüssig, die Dreiecke Fig. 46*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 B_2B_4 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. 46*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 hangen.

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	
	Zeigerablesung in kg*	Verbesserte Ablesung in kg*	Länge des Kraftpfeils in cm	Berechnete Kraftgröße in kg*
S_1				
S_2				
S_3				
F_3				
F_4				

22. Aufgabe. *Wie groß sind die Auflagedrucke eines wagerechten Stabes, der zwischen den Auflagern mit Gewichten belastet ist?*

Geräte. Holzstab. Zwingen mit starken Haken. Universalrolle. 2 Haken. 2 Federwagen mit Kreisteilung bis 20 kg*. Starker Bindfaden. Wasserwage. Ringgewichte von 5, 10 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

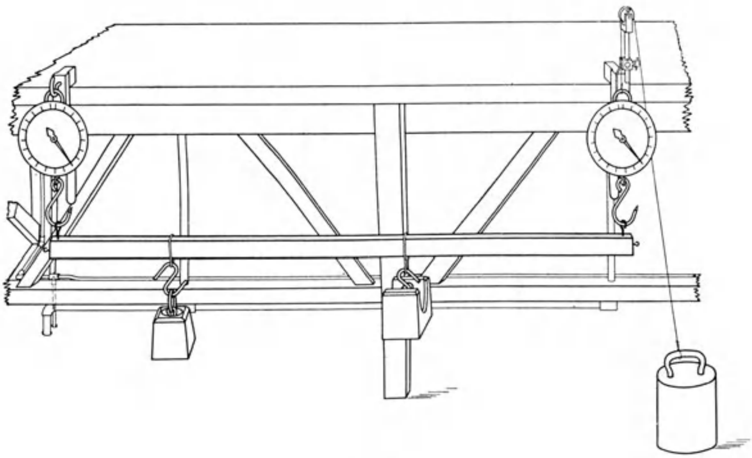

Fig. 47.

Gewichte jedes einzelnen Gewichtstücks 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 Schleifen um den Stab und befestige daran mit Haken Ringgewichte von 5 und 10 kg*. Hebe oder senke die eine Wage so, daß der Stab wagerecht steht (Fig. 47). 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. 48a) 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 Auflagedrucke 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. 48 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 $\mathfrak{S}_1$, $\mathfrak{S}_2$

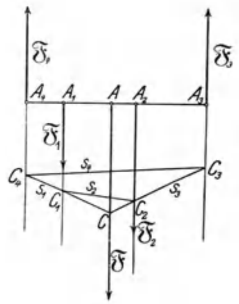

Fig. 48 a.

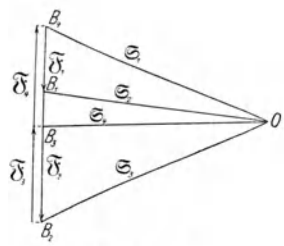

Fig. 48 b.

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 Auflagedruck $\mathfrak{F}_3$ und B_3B_4 den Auflagedruck $\mathfrak{F}_4$ dar. Vergleiche die Werte, die auf diese Weise durch Zeichnung ermittelt worden sind, mit den Ablesungen an den Federwagen.

f) Wiederhole die Bestimmung durch Zeichnung für verschiedene Lagen des Pols O.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linke Federwage Nr. . . . Rechte Federwage Nr. . . .
Holzstab Nr. . . . F_1 = . . . [kg*]. F_2 = . . . [kg*].
A_4A_1 = . . . cm. A_4A_2 = . . . cm. A_4A_3 = . . . cm.
Kräftemaßstab . . . Längenmaßstab . . .

Auflagedruck	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 verschiedener Teilkräfte zu bestimmen, wenn deren Größen und Wirkungslinien bekannt sind.

i) Wiederhole die Versuche und Zeichnungen für verschiedene Angriffstellen der Lasten.

23. Aufgabe. *Wie bestimmt man Größe und Pfeilrichtung der Gesamtkraft von parallelen Kräften?*

Geräte. Hebel. Ringgewichte von 2 und 5 kg*. Meterstab. Starker Bindfaden. Becherglas mit Wasser. Unterlegklötze. Vollständige Zeichenausrüstung. Schmieröl.

Anleitung. a) Wäge den Hebel und nimm an, daß in seinem Mittelpunkt das Gewicht angreift. Setze den Hebel in sein Lager und öle dieses.

b) Hänge in 28 cm Abstand von der Drehachse das Gewichtstück 5 kg* mit einer engen Bindfadenschleife 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 annähernd wagrecht 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 parallel liegen, das hinter dem Hebel aufgestellt ist. Verschiebe, wenn dies nicht der Fall ist, die Schleife des linken Gewichts so lange, bis sich der Hebel genau wagrecht einstellt, nachdem man schwach auf seinen rechten Arm geklopft hat (Fig. 49).

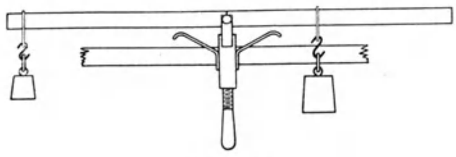

Fig. 49.

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. 50*a*). Zeichne ferner wie in Aufg. 22 (d) das zugehörige Krafteck und ziehe für einen beliebigen Pol O die Polstrahlen (Fig. 50*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.

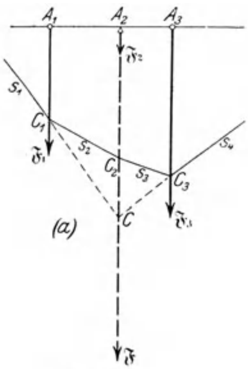

Fig. 50 a.

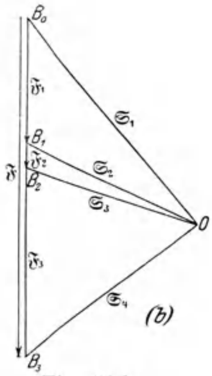

Fig. 50 b.

g) Welche Strecke des Kraftecks liefert die Größe $\mathfrak{F}$ der Gesamtkraft? Berechne mit dem Kräftemaßstab daraus $\mathfrak{F}$ in kg* und vergleiche das Ergebnis mit dem Gewichte 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 F_2 = . . . [kg*].
Länge des Hebels . . . cm.

Linker Arm		Rechter Arm		Gesamtkraft F		
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

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?*

Geräte. Hebel. 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 sein Lager ein, schmiere dieses 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 engen Schleife am linken Arm in $\sim$ 30 cm Abstand von der Achse ein 2 kg*-Stück. Was geschieht?

c) Hänge mit einer engen Schleife an den andern Arm ein 1 kg*-Stück 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 am rechten Arm das 2 kg*-Stück durch das Gewicht 4 kg*. Was geschieht? In welchem Abstand von der Achse bewirkt die neue Belastung das Gleichgewicht?

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . .

Linker Arm				Rechter Arm				Algebraische Summe der Drehantriebe $P_1 + P_2$	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	$\frac{F_1}{F_2} - \frac{l_2}{l_1}$
Kraft F_1 kg*	Kraftarm l_1 cm	Drehantrieb P_1		Kraft F_2 kg*	Kraftarm l_2 cm	Drehantrieb P_2					
		Sinn	$F_1 l_1$ kg* cm			Sinn	$F_2 l_2$ kg* cm				
							Summe	. . . . .		Mittel	. . . .

g) Vergleiche die Verhältnisse F_1/F_2 und l_2/l_1 miteinander. Wovon hängt die Drehwirkung einer Kraft ab? *Drehachse. Kraftarm. Drehantrieb (Drehmaß, Drehmoment). Einheit des Drehantriebs. Drehsinn. Positiver und negativer Drehantrieb.*

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei

$$x = l_2 \text{ und } y = P_2.$$

i) Auf einen Körper, der sich um eine feste Achse drehen kann, wirken zwei Kräfte in einer Ebene, die auf der Achse senkrecht steht. Unter welchen Bedingungen ist er im Gleichgewicht? Welche

Winkel bilden bei diesen Versuchen die Wirkungslinien der Kräfte mit den Kraftarmen?

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.

Geräte. 2 Federwagen bis 4 kg*. 2 Zapfenklemmen für die Wagen. Meterstab. Glasperle oder kleiner Metallring oder Zapfenklemme für den Maßstab. 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 von dem Punkt O (Fig. 51), der etwa in der Mitte des Strichs liegt, nach beiden Seiten 30 cm ab und errichte in den so erhaltenen Punkten A_1 und A_2 Senkrechte auf A_1A_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-

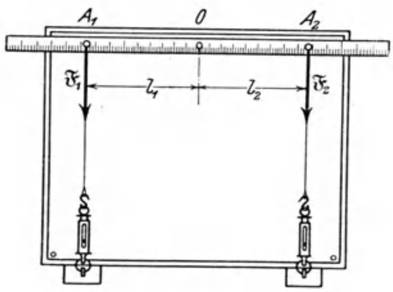

Fig. 51.

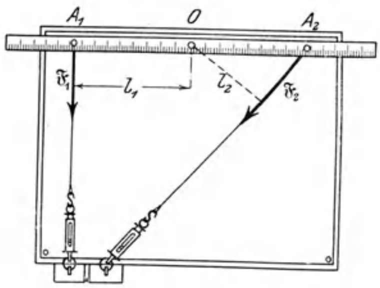

Fig. 52.

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_1A_2 fest und zieh 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_1A_2 liegen. Befestige die Ringe wie in Aufgabe 8, S. 40. Welche Kräfte wirken auf den Meterstab? In welchem Sinn sucht ihn jede Kraft zu drehen? Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Berechne die Drehantriebe $P_1 = F_1 l_1$ und $P_2 = F_2 l_2$ der beiden Kräfte in bezug auf die Achse O und vergleiche sie nach Sinn und Größe.

b) Halte den Maßstab fest, mache den Ring der rechten Federwage frei und befestige ihn so in einer andern Lage (Fig. 52), 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 die Wirkungslinie und 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 Drehantriebe $P_1 = F_1 l_1$ und $P_2 = F_2 l_2$ von F_1 und F_2 in Bezug auf O und vergleiche sie nach Sinn und Größe.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Meterstab Nr. . . . Links Federwage Nr. . . . Rechts Federwage Nr. . . .

Links					Rechts					Algebraische Summe der Drehantriebe $(P_1 + P_2)$ kg* cm
Kraft		Kraftarm	Drehantrieb P_1		Kraft		Kraftarm	Drehantrieb 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	
									Summe	. . . . . .

f) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte am Stab aufstellen?

2. Verfahren.

Geräte. Meterstab. Angelschnur. Papier. 2 Federwagen bis 4 kg*. Nagel. 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 Schnüre und binde Schleifen. Stecke durch das Loch O in der Mitte einen Vorstecher und treibe ihn in das Wandbrett (Fig. 53). Binde an die Schleifen A_1 und A_2 Schnüre und an deren Enden die Ringe zweier Federwagen. Knüpfe an die Haken der Wagen Schnüre, verbinde sie mit einem kleinen Ring und befestige diesen mit einem Nagel N so am Wandbrett, daß der Stab und die Schnüre geeignete Stellungen haben, die Schlitze der Wagen

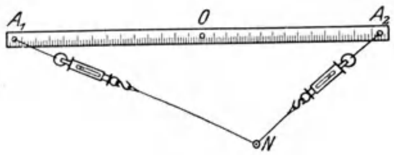

Fig. 53.

so genau wie möglich in den Richtungen A_1N und A_2N liegen und die Wagen über die Hälfte ihres Meßbereichs hinaus beansprucht werden.

h) Lege mit dem Spiegelstreifen die Schnurrichtungen fest 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.

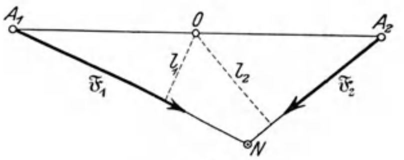

Fig. 54.

i) Wickle 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. 54). Fälle von O aus auf die Wirkungslinien Lote und miß ihre Längen l_1 und l_2 cm. Bestimme Sinn und Größe jedes Drehantriebs 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.

Geräte. Scheibe aus Pappe oder Holz. Seidenschnüre. 4 Rollen. 4 Ringgewichte von 1 kg*. Satz von Scheibengewichten. Runder Vorstecher oder Nagelbohrer. Spiegelstreifen. Vollständige Zeichenausrüstung.

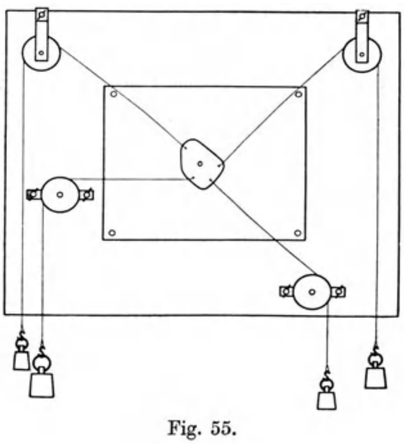
Fig. 55.

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 Schnüre an die durchlochten Randstellen der Scheibe, führe sie über Rollen und belaste ihre freien Enden mit geeigneten Gewichten, sagen wir 1, 1,5, 2 und 2 kg*, so daß die Gleichgewichtlage etwa wie in Fig. 55 aussieht.

n) Lege mit einem Spiegelstreifen an je zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen die Richtungen der vier Schnüre fest 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 den Drehantrieb in bezug auf die Achse und zähle die gleichsinnigen Antriebe zusammen. Vergleiche die Summe der positiven mit der Summe der negativen Antriebe.

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Scheibe Nr. . . .

Kraft F kg*	Kraftarm l cm	Drehantrieb P		Summe der positiven Antriebe	Summe der negativen Antriebe	Algebraische Summe der Drehantriebe
		Sinn	Fl			

r) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte aufstellen?

s) Ändere die Belastung und wiederhole die Versuche (m) bis (r).

26. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen halten sich parallele Kräfte, die in einer Ebene auf einen Körper wirken, das Gleichgewicht?*

1. Verfahren.

Geräte. Wie in Aufgabe 22, dazu Millimeterpapier.

Anleitung. a) Verfahre wie bei Aufg. 22 (a) S. 60. Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Die gemessenen Zugkräfte F_3' und F_4' halten dem Stabgewichte 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 $\sim$ 30 cm Abstand von dem einen Ende und befestige ebenso das 10 kg*-Stück in $\sim$ 50 cm Abstand von dem 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.

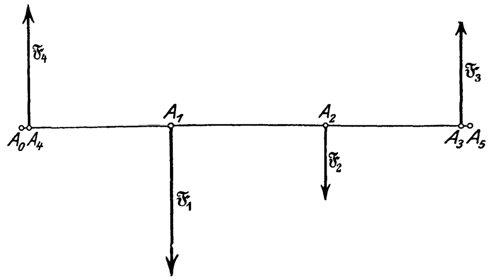

Fig. 56.

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 Auflagedrucke, die die Be lastungen F_1 und F_2 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 Auflagedrucke 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. 56).

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 Drehantriebe in bezug auf eine Drehachse, die rechtwinklig 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. . . .
Auflagedrucke des unbelasteten Stabes $F_3' = \ldots$ [kg*], $F_4' = \ldots$ [kg*].
Auflagedrucke des belasteten Stabes $F_3'' = \ldots$ [kg*], $F_4'' = \ldots$ [kg*].

	Kraft		Kraftarm l cm	Drehantrieb P in bezug auf . . .	
	Sinn	Größe		Sinn	Größe
Summe der Kräfte	. . . . .	. . . . .	Summe der Antriebe	. . . . . .	. . . . . .

g) Berechne für jeden Versuch der Reihe nach die Drehantriebe 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 Drehantriebe 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 Antriebgleichungen 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 der Angriffstelle des Stabgewichts. Ändert sie sich mit der Stellung der Wagen? *Schwerpunkt.*

2. Verfahren.

Geräte. 3 Federwagen bis zu 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 an und befestige deren andere Enden an den Haken zweier Federwagen. Klemme die Schlitten der Federwagen mit Zwingen an den Tischrand. 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 gleich laufen und die beiden Federwagen, die nach derselben Seite ziehen, Zugkräfte von $\sim$ 5 kg* anzeigen (Fig. 57).

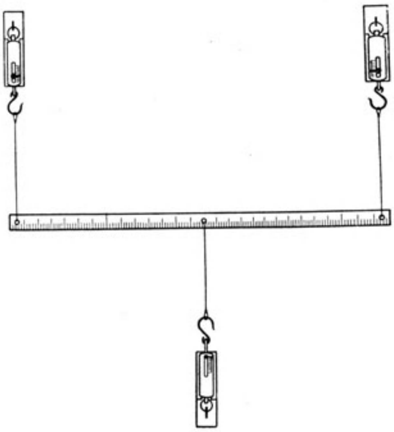

Fig. 57.

m) Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne den Lageplan auf Millimeterpapier.

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 (f) auf.

p) Berechne jedesmal die Drehantriebe 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 andern Kräfte? Vergleiche Größen und Pfeilrichtungen der Teilkräfte und der Gesamtkraft miteinander.

r) Wie groß ist die algebraische Summe der Drehantriebe 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.

Geräte. Halls Scheibe. 3 eiserne Stifte zur Scheibe. 3 Federwagen bis 4 kg*. Schlitten für die Wagen. Angelschnur. 3 Lagerkugeln. 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. 58). Lies die Wagen ab. Ändert sich die Wirkung einer Kraft, wenn man die Angriffstelle in der Wirkungslinie der Kraft verlegt?

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 gleich laufen, die auf der Stiftreihe senkrecht stehen (Fig. 59). 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 den Lageplan auf Millimeterpapier.

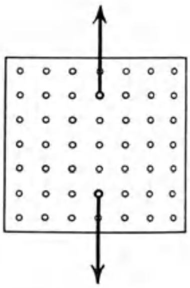

Fig. 58.

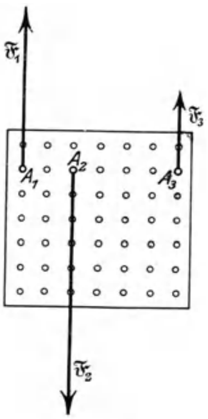

Fig. 59.

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 anderes Loch, das auf der Wirkungslinie von F_1 liegt (Fig. 60). Herrscht Gleichgewicht, wenn die Kräfte, die in A_1, A_2 und A_3 angreifen, die gleichen Stärken 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?

y) Stelle wieder wie bei (v) das Gleichgewicht her. Drehe das Brett wie in Fig. 61, verschiebe zugleich die Klemmen am Tischrand und ändere die Längen der Schnüre so, daß die Wirkungslinien der Kräfte einander parallel und die Stärken der Kräfte so groß wie vorher bleiben. Halten sich die Kräfte auch jetzt noch das Gleichgewicht?

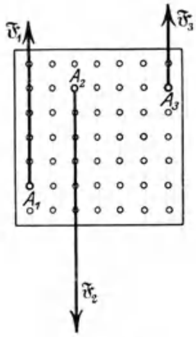

Fig. 60.

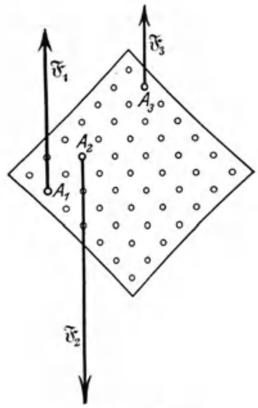

Fig. 61.

27. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen halten sich zwei Kräftepaare das Gleichgewicht?*

1. Verfahren.

Geräte. 4 Rollen. Meterstab. Holzstab. Ringgewichte von 1, 1, 2 kg*. Zwei 0,5 kg*-Stücke. Runder Vorstecher. Spiegelstreifen. Papier. Vollständige Zeichenausrüstung. Millimeterpapier. Scheibengewichtsatz.

Anleitung. a) Befestige das obere Ende des Meterstabes mit einer Schnur an einem Haken, der am obern Rande des Wandbretts eingeschraubt ist (Fig. 62). 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 Sinn dreht sich der Stab? Versuche eine dritte Kraft anzubringen, die den Stab in lotrechter Stellung erhält. *Kräftepaar. Arm. Drehantrieb (Moment) des Kräftepaars. Drehsinn.* Wie groß ist der Antrieb des Kräftepaars 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

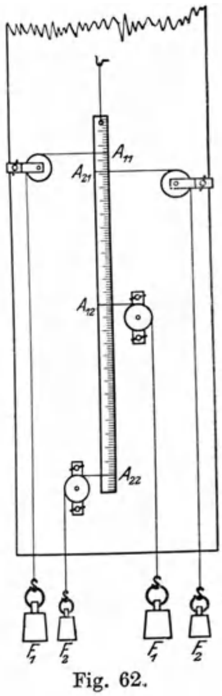

Fig. 62.

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 der Antrieb eines Kräftepaars? Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe aller Drehantriebe?

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf: Meterstab Nr. . . .

	Kraft F kg*	Arm l cm	Drehantrieb des Kräftepaars Sinn	Drehantrieb des Kräftepaars Fl kg* cm
Algebraische Summe	. . . . .	.	. . . . .	. . . .

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 Kräftepaars 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 Paars müssen parallel bleiben, doch können sie verschiedene Winkel mit dem Stabebilden. Mache die Antriebe der Kräftepaare durch Änderung der Schnurbelastungen gleich. Ist es für das Gleichgewicht notwendig, daß die Kräfte senkrecht zum Stabe wirken?

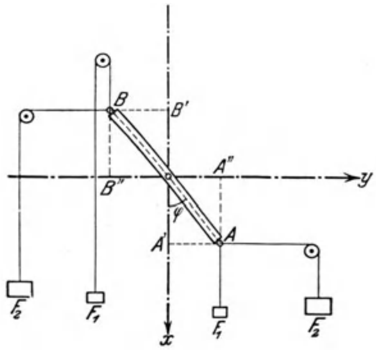

Fig. 63.

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 Punkt O des Papiers (Fig. 63). Prüfe, ob er im allseitigen Gleichgewicht ist.

g) Bringe an den Endösen mit Schnüren, Rollen und Gewichten das nach rechts drehende Kräftepaar $(F_1 | -F_1)$ und das nach links drehende Kräftepaar $(F_2 | -F_2)$ an. Drehe den Stab aus seiner Gleichgewichtslage heraus. Kehrt er wieder dahin zurück?

h) Merke die Mitten der Ösen an 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 $(F_1 | - F_1)$ und $(F_2 | - F_2)$? Wie groß ist jeder Antrieb und die algebraische Summe der Antriebe? 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.

Geräte. Hallsche Scheibe. 4 Stifte aus Eisen. 4 Federwagen bis 10 kg*. Schlitten zu den Wagen. Zwingen. 3 Lagerkugeln.

Anleitung. l) Befestige an dem 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 in vier Löcher derart, daß die Schnüre dicht über der Oberseite des Bretts 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. 64). Ermittle 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 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.

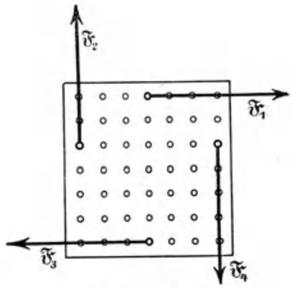

Fig. 64.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Scheibe Nr. . . .

Angriffstelle (Lochziffer)	Nummer der Federwage	Kraft F kg*			Arm l cm	Drehantrieb	
		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. Drehantrieb (Moment) des Kräftepaars. Drehsinn.* Gib von beiden Kräftepaaren Sinn und Größe der Antriebe an. Kann man nach Entfernung des einen Kräftepaares 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.

28. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt einer Scheibe, deren Umfang unregelmäßig gestaltet ist?*

Geräte. Pappe. Drahtstifte. Lot. Spiegelstreifen. Runder Vorstecher. Hammer. Zeichendreiecke. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. **a)** Stecke durch den Rand der Pappe einen Nagel. Drehe ihn mehrmals in dem Loch herum und erweitere es so ein wenig, damit die Pappe mit sehr geringer Reibung frei schwingt, wenn man den Nagel wagerecht in das Wandbrett einschlägt. 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 den Nagel und bestimme ungefähr die Stelle, wo es den untern Rand der Pappe schneidet. Zieh an dieser Stelle dicht nebeneinander mehrere kurze parallele Striche.

c) Hänge das Lot mit einer Endschleife an den Nagel und bestimme nun mit dem Spiegelstreifen 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 Schwerpunkts auf der Rückseite der Pappe. Ist der Punkt auf der Vorderseite oder der Punkt auf der Rückseite der wahre Schwerpunkt? Stich mit dem Nagel genau durch den vordern Schwerpunkt. Geht der Stich durch den hintern Schwerpunkt? Was für eine Linie ist das Stichloch? 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 des lotrecht gehaltenen Nagels. Wie stellt sich die Scheibe ein?

h) Schneide ein Stück von mindestens 10 cm^2 aus der Scheibe heraus und bestimme von neuem die Lage des Schwerpunkts. Welchen Einfluß hat die Wegnahme des Pappenteils 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 zieh 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 dem Nagel durch den Schwerpunkt auf der Unterseite und prüfe, ob er mit dem auf der Oberseite nahezu zusammenfällt.

l) Hänge das erste Pappstück an einem Faden auf und laß es pendeln. Was für eine Bahn beschreibt der Schwerpunkt? Wie liegt der Schwerpunkt zum tiefsten Punkte der Bahn, wenn die Pappe im Gleichgewicht ist? *Sicheres Gleichgewicht.*

m) Stecke durch den Schwerpunkt einen Nagel, halte ihn wagerecht und setze die Pappe in Drehung. Kommt sie stets in derselben Stellung zur Ruhe? (Es ist schwierig, den Nagel genau durch den Schwerpunkt hindurchzustoßen.) *Allseitiges Gleichgewicht.*

n) Stecke den Nagel durch ein Randloch und versuche die Pappe so zu stellen, daß der Schwerpunkt genau über dem Nagel 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.*

29. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt einer dreieckigen Scheibe?*

(Handbuch S. 112.)

30. Aufgabe. *Wo liegt der Schwerpunkt eines rechtwinklig umgebogenen Drahts?*

Geräte. 27 cm Kupferdraht. Papier. Garn. Lot. Pappe. Maßstab. Klebwachs. 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 Drahts in wahrer Größe. Binde an den kurzen Schenkel einen Faden, hänge den

Winkel damit an einem Haken im Wandbrett auf und bezeichne auf dem Papier die Aufhängestelle und die Schwerlinie. Wiederhole diesen Versuch dreimal und kennzeichne den so gefundenen Schwerpunkt.

c) Übertrage mittels Durchstechens die Zeichnung des Winkels und die Lage seines Schwerpunkts auf ein anderes Stück Papier.

d) Wo liegen die Schwerpunkte des kurzen und des langen Schenkels? Auf welcher Strecke liegt der Schwerpunkt des ganzen Drahts? 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 Keils in die Schwebe. Bestätigt dieser Versuch die frühern Ergebnisse?

f) Bestimme die Schwerpunkte von Drähten, die die Gestalt eines **C**, **H** oder **T** haben.

g) Stelle aus Holzstäbchen ein Vierflach- oder ein Würfelgerüst her. Hänge es an einer und dann an einer andern Ecke auf. Mache die Lotrichtungen durch Fäden oder Drähte sichtbar, befestige diese mit Klebwachs und bestimme so die Lage des Schwerpunkts.

31. Aufgabe. *Unter welchen Bedingungen stehen die Kräfte, die an einem Hebel angreifen, im Gleichgewicht?*

Geräte. Hebel mit fester Achse in der Mitte. Hebel mit verschiebbarer Achse. Ringgewichte von 10, 5 und 2 kg*. Stabgewichte und Scheibengewichte. Wagschale. 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, das Gleichgewicht her mit einem kleinen Gewicht oder einem Reiter aus Draht oder Blei.

b) Hänge ein 5 kg*-Stück in ~ 30 cm Abstand von der Achse an den linken Arm und mit einer Schleife eine Wagschale in ~ 50 cm Abstand von der Achse an den rechten Arm. 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_0 = . . . [kg*].

Linker Arm				Rechter	
Last F_l kg*	Lastarm l_l cm	Drehantrieb der Last P_l		Belastung F' kg*	Kraft $F_k = F_0 + F'$
		Sinn	$F_l l_l$ kg* cm		

Arm			Algebraische Summe der Antriebe	Übersetzungsverhältnis F_l/F_k
Kraftarm l_k cm	Drehantrieb der Kraft P_k			
	Sinn	$F_k l_k$ kg*cm		
		Mittel	. . . . . .	

e) Wie groß ist der Drehantrieb der Last? In welchem Sinn wirkt er? Wie groß ist der Drehantrieb der Kraft? In welchem Sinn wirkt er? Wie groß ist die algebraische Summe der Antriebe? 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, ermittle die Belastungen, die das Gleichgewicht herstellen, und verfahre wie bei (c) bis (e).

h) Löse mit dem Antriebsatz 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 Hebelarms. Stelle durch ein größeres bekanntes Gewicht das Gleichgewicht her und berechne mit dem Antriebsatz 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 den Ring einer Federwage daran, 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 Antriebsatz geliefert hat.

l) Schiebe die Hebelachse an das linke Ende des Stabes und hänge an das andere Ende ein 1 kg*-Stück. Berechne mit dem Antriebsatz 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 Aufhängeschleifen auf der obern Seite des Hebels aufliegen) 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 andern 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	. . . . . .

32. Aufgabe. *Bestimme das Verhältnis der Wagearme.*

Geräte. Wage. Gewichtsatz. Kleine Bechergläser. Schrot. Zinn- oder Bleiblatt.

Anleitung. a) Berichtige mit Papier, Zinn- oder Bleiblatt die Wage, bis der Zeiger genau 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 Abgleichung des Becherglases mit p_1 und stelle die Antriebsgleichung auf.

c) Ersetze das 200 gr-Stück durch ein zweites Becherglas voll Schrot, Papier u. dgl. Bezeichne die Abgleichung dieses Becherglases mit p_2 und stelle wieder die Antriebsgleichung auf.

d) Ersetze die Abgleichung p_1 durch das 200 gr-Stück. Lege, wenn kein Gleichgewicht vorhanden ist, auf der leichtern Schale p gr zu. Stelle die Antriebsgleichung 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.

33. Aufgabe. *Bestimme das Gewicht der Hebelstange ohne Wage mit dem Antriebsatz.*

(Handbuch S. 118.)

VI. Arbeit.

34. Aufgabe. *Ändert sich die Reibung zwischen einem Seil und einem festen Stabe mit der Größe der Umschlingung?*

(Handbuch S. 118.)

35. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis und der Wirkungsgrad einer festen Rolle?*

Geräte. Baurolle. Ringgewichte von 5, 10, 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5. 10 kg*. Scheibengewichtssatz von 0,01 bis 0, 5 kg*. Seil. Tafelwage. Wagschale. Schmieröl. Aufhängebügel. Keil. Hammer. Schwarzes Garn. Millimeterpapier. Spitzes hartes Blei.

Anleitung. a) Bestimme die Gewichte der Wagschale 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 $\sim$ 1 m über dem Fußboden liegen. Befestige am linken Ende einen starken Haken und am rechten Ende eine Wagschale. Zieh das Seil so, daß die Schale tiefer als der Haken hängt (Fig. 66). 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.

c) Mache einen Handriß der Maschine und erläutere sie kurz.

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? *Wegverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt?

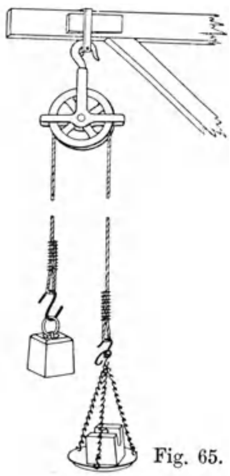

Fig. 65.

e) Bezeichne mit Kreidestrichen je eine Stelle am Last-Gewichtstück und an der Kraftschale und miß die Höhen (h_l' und h_k' m) der Marken über dem Fußboden. Bewege die Schale um $\sim$ 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 Wegverhältnis und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

h) Hängt das Wegverhältnis 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 Wagschale nebst Zubehör $f_k = \ldots$ [kg*].
Gewicht des Lasthakens $f_l = \ldots$ [kg*].
Gewicht der Rollenscheibe $f_o = \ldots$ [kg*].

Belastung des Hakens F_l' kg*	Last $F_l = F_l' + f_l$	Belastung der Schale beim Sinken F_k' kg*	Belastung der Schale beim Steigen F_k'' kg*	Verbesserte Kraft $F_v = \frac{1}{2}(F_k' + F_k'') + f_k$	Verbessertes Übersetzungsverhältnis $\varkappa_v = F_l/F_v$

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 Wegverhältnis. 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 bildlich 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 Übersetzungsverhältnis $\varkappa = F_l/F_k$	Reibung $F_r = F_k - F_l$

Achsenbelastung $F = F_k + F_l + f_o$	$\dfrac{F}{F_r}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \dfrac{\text{kg*m}}{\text{sek}}$	Leistung der Kraft bei 1 m Fall $L_k = F_k \dfrac{\text{kg*m}}{\text{sek}}$	Wirkungsgrad $\eta = \dfrac{F_l'}{F_k}$

q) Stelle die Beziehung zwischen Kraft und Last bildlich dar und setze dabei $x = F_l$ und $y = F_k$. Welche Kurve erhält man? *Kraftkurve.*

r) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der bildlichen Darstellung einen Faden aus schwarzem Garn so aus, daß er ebenmäßig dazu liegt, und bezeichne 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 Zahlengleichungen die Werte m und n. Es besteht also zwischen der Last F_l und der Kraft F_k die Beziehung $F_k = mF_l + n$, 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

$$\varkappa = \frac{F_l}{F_k} = \frac{F_l}{mF_l + n} = \frac{1}{m + \frac{n}{F_l}}.$$

Hängt also das Übersetzungsverhältnis von der Last F_l ab? Wie ändert es sich mit wachsender Belastung? Gibt es einen größten Wert des Übersetzungsverhältnisses?

s) Wäre keine Reibung da, so wäre $F_l = F_k$. Was mißt der Unterschied $F_k - F_l$?

t) Wie groß ist die gesamte Belastung F kg* der Rollenachse, wenn man das Gewicht des Seils vernachlässigt? Berechne aus den Versuchen (i) und (k) die Werte von F für alle Belastungen.

u) Stelle die Beziehung zwischen der Gesamtbelastung der Rolle F und der Reibung F_r bildlich dar und setze dabei $x = F$ und $y = F_r$.

v) Verfahre wie bei (r) und bestimme aus der Geraden die Zahlenwerte 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 Wegverhältnis $\sigma = h_k/h_l$. 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 sind 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 bildlich 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 $\eta = F_l'/F_k$, 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?

36. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines einrolligen Flaschenzuges?*

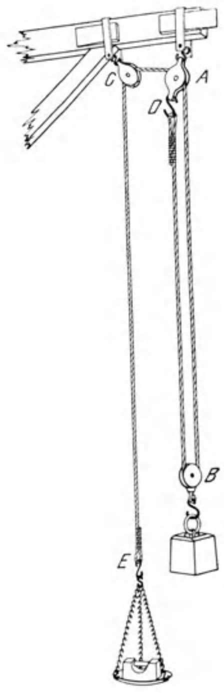

Fig. 66.

Geräte. 2 feste Rollen. 1 bewegliche Rolle. Ringgewichte von 5, 10 und 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5 und 10 kg*. Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Seil. Tafelwage. Wagschale. Schmieröl. 2 Keile. 2 Aufhängebügel. Hammer. Schwarzes Garn. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. a) Bestimme das Gewicht der Wagschale nebst Zubehör f_k kg*, 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. 66) 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 viele 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? *Wegverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt? Welche Aufgabe haben die Rollen A und C zu erfüllen?

e) Bestimme wie in Aufg. 35 (e) bis (g) durch Versuche das Wegverhältnis σ von Kraft und Last.

f) Untersuche wie in Aufg. 35 (h), ob das Wegverhältnis nur vom geometrischen Bau der Maschine abhängt, und erkläre, warum der theoretische Wert von σ von dem gefundenen Mittelwert abweicht.

g) Ermittle 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_0 kg* hinzu, setze also $F_l = F_l' + f_l + f_0$. Vergleiche das Übersetzungsverhältnis $\varkappa_v$ mit dem Wegverhältnis 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 Wagschale 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 Wagschale nebst Zubehör $f_k = \ldots$ [kg*].
Gewicht des Lasthakens $f_l = \ldots$ [kg*]. Gewicht der beweglichen Rolle $f_0 = \ldots$ [kg*].
Wegeverhältnis (vgl. e) $\sigma = \ldots$

Last $F_l = F_l' + f_l + f_0$	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 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 bildlich dar, setze dabei $x = F_l$ und $y = F_r$ und benutze dasselbe Achsenkreuz wie bei der Kraftkurve. Was für eine Kurve erhält man? *Reibkurve.*

n) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der bildlichen Darstellung einen Faden aus schwarzem Garn so aus, daß er ebenmäßig dazu liegt, und bezeichne 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 Wegverhältnis 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 bildlich 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 $F_l = F_l' + f_l + f_o$ ist.

37. Aufgabe. ***Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines dreirolligen Flaschenzuges?***

Geräte. Dreirolliger Flaschenzug. Wagschale. Tafelwage. 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.

Fig. 67.

Anleitung. **a)** Bestimme das Gewicht des untern Klobens f_0 kg* und der Gewichtschale f_k kg*.

b) Öle die Kloben, zieh 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 Wagschale und an der untern Flasche ein 5 kg*-Stück und lege so viele 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 $\sim$ 1 m über dem Fußboden hängt (Fig. 67).

c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).

d) Wieviel Seilstücke gehen vom untern Kloben 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? *Wegverhältnis.* Wird hier der Weg der Last verkürzt?

e) Bestimme wie in Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche das Wegverhältnis σ von Kraft und Last.

f) Bestimme die Kraft, die erforderlich ist, um die unbelastete Maschine in Gang zu setzen, lege dabei so viele 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 $f_0 = \ldots$ [kg*]. Gewicht der Wagschale $f_k = \ldots$ [kg*].
Wegeverhältnis $\sigma \ldots$

Belastung des untern Klobens F_l' kg*	Last $F_l = F_l' + f_0$	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 Wegverhältnis 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.


Fig. 68.

38. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines Differentialflaschenzuges?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 37, nur Differentialflaschenzug statt des dreirolligen Flaschenzuges.

Anleitung. a) Bestimme das Gewicht der Wagschale f_k kg* und, wenn es geht, das der untern Rolle nebst Haken 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 $\sim$ 1 m über dem Fußboden hängt (Fig. 68).

c) Verfahre wie bei Aufgabe 35 (c).

d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch einfache Rechnung ab, daß das Wegverhältnis 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 beide Durchmesser und berechne die Wegverhältnisse. 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 Wegverhältnisse.

e) Bestimme wie bei Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche die Wegverhältnisse des Flaschenzuges für das Heben und das Senken der Last.

f) Verfahre wie bei Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste bis $\sim$ 50 kg*.

39. Aufgabe. *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad einer Schraubenwinde?*

Geräte. Schraubenwinde. Seil. Wagschale. Universalrolle. Ringgewichte von 5, 10, 20, 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*, Tafelwage, Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Schmieröl. Schwarzes Garn. Meterstab. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.

Anleitung. **a)** Bestimme das Gewicht der Wagschale f_k kg* und das der Spindel nebst Seilscheibe und Lastbrett f_0 kg*.

b) Befestige die Winde sicher auf dem Tisch. Öle die Maschine und die Führungsrolle. Setze auf das Lastbrett ein 10 kg*-Stück. Befestige das Seil mit einem Ende 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. 69).

c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).

d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch Rechnung ab, daß das Wegverhältnis der Winde

$$\sigma = \pi \frac{d + \delta}{h}$$

ist, wo d cm den Durchmesser der Seilscheibe, δ cm die Dicke des Seils und h cm die Ganghöhe der Spindel bezeichnet. Miß d, δ und h (vgl. S. 17) und berechne daraus das Wegverhältnis.

e) Miß die Höhe (h_l' cm) der obern oder untern Kante der Seilscheibe oder des Lastbretts über dem Tisch, worauf 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 den Fußboden nahezu berührt und miß wieder die Höhe der Last (h_l'' cm) und der Schale (h_k'' cm) über dem Tisch und dem Fußboden.

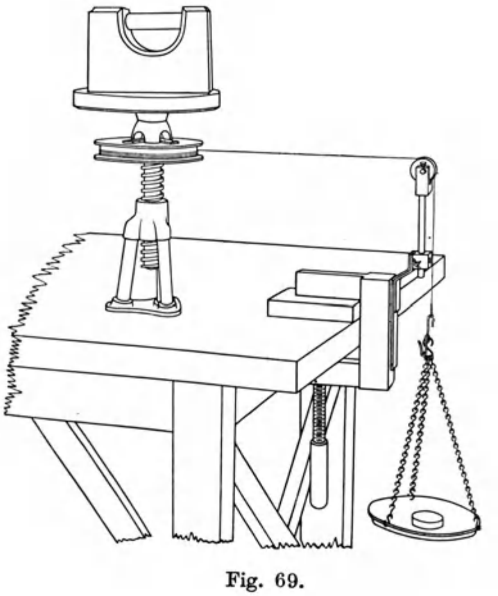

Fig. 69.

f) Wiederhole die Messungen zweimal und verfahre wie in Aufgabe 35 (g).

g) Nimm die Gewichtschale ab, wickle möglichst viele (sagen wir z_1) ganze Windungen des Seils von der Seilscheibe ab und miß die Länge (l cm) des abgewickelten Seilstücks. Es ist dann l cm/z_1 die Falltiefe der Kraft für eine Umdrehung der Scheibe.

h) Schraube die Spindel so tief, wie es geht, mach, einer Marke oder einem festen Punkt auf dem Tisch oder der Wand gegenüber, einen Kreidestrich auf der Seilscheibe 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 $(s'' - s')/z_2$ cm die Steighöhe der Last für eine Umdrehung der Seilscheibe.

i) Berechne aus den Messungen (g) und (h) das Wegverhältnis. Bilde aus diesem Wert und den Ergebnissen von (e) und (f) das Mittel und vergleiche es mit dem in (d) berechneten Wegverhältnis. Beantworte die Fragen in Aufgabe 35 (h).

k) Verfahre wie in Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste die Winde bis $\sim$ 50 kg* und höher.

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 Sekunden 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 Sekunden 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.

Geräte. 3 Fallrinnen. 2 Lagerkugeln von 5 cm Durchmesser. Langer Holzkeil. Zielbügel oder Karton und Schere. Winkel. Reißnägel oder Klebwachs. Schublehre. 2 Auslöser. Auffangeklotz. Wasserwage. 2 gleiche große Holzklötze. Kasten mit Watte. Quecksilberbrett. Millimeterpapier. Kohlepapier. Bunsengestell.

Anleitung. a) Eine Kugel rollt in t Sekunden die ganze Länge (s cm) der schiefen Ebene AB (Fig. 70) 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 an dem untern Ende der schiefen Ebene an?

b) Gib der Fallrinne von 2 m Länge durch Unterschieben des Keils eine geringe Neigung. Miß den Durchmesser jeder Kugel.

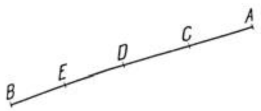

Fig. 70.

Fig. 71.

Halte mit dem einen Auslöser eine Kugel am obern Ende der Rinne fest und lege den Auffangeklotz vor das untere Ende der schiefen Ebene. Kennzeichne auf der Rinne die Stellen A und B, worüber die Kugelmitte vor und nach dem Hinabrollen liegt. Nimm den vierten Teil des Abstandes AB und trage ihn von A aus nach unten bis C und von B aus nach oben bis E ab. Lege mit einem andern Auslöser die zweite Kugel so auf der Rinne fest, daß sich ihr Mittelpunkt über E befindet. Schneide aus Karton einen 2 cm breiten und 26 cm langen rechteckigen Streifen und falte ihn an den Stellen G und H (Fig. 71), die 6 cm voneinander abstehen, so um, daß I auf die Strecke FG und F auf die Strecke HI fällt. Klappe die Seitenteile FG und HI lotrecht nach unten und biege an ihren untern Enden je ein 2 cm langes Stück wagerecht nach innen. Hefte diese Zielvorrichtung mit Reißnägeln oder Klebwachs so auf die Fallrinne, daß die Ebene $FGHI$ auf der Rinne senkrecht steht und in der Richtung CB um den Kugelhalbmesser von C absteht.

Fig. 72.

c) Laß den Mitarbeiter die Kugel, die über A steht, auslösen und gib, sobald ihr vorderster Punkt an dem 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 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. 72) 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 Sekunden 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 $2\,t$ Sekunden 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 sofort 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 in demselben Augenblick 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?

g) Stelle beide Fallrinnen mit zwei gleich hohen Klötzen so auf, daß die untern Enden nebeneinander liegen, und unterstütze das obere Ende der längern Rinne durch einen höhern dritten Klotz. Trage auf der Rinne AP_1 (Fig. 73) 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 Ziehen an der Schnur beide Kugeln aus. Erreichen sie zu gleicher Zeit die untern Enden der Rinnen?

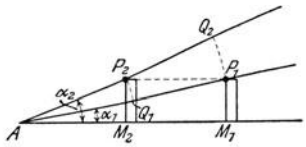

Fig. 73.

h) Bezeichnen s_1, b_1, t_1 und s_2, b_2, t_2 die Wegstrecken, die Beschleunigungen und die 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 gleichbleibende 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 Falls.*

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 untern Ende der Fallrinne nur von der Höhe h ab, aus der die Kugel hinabrollt. Diese

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. 74) die kurze Rinne *BC* unter Beachtung der Vorsichtsmaßregeln, die bei Versuch (d) angegeben worden sind, so an, daß *C* über dem Tischrand liegt. Befestige die kurze Rinne mit Zwingen oder sorge irgendwie für ihre unveränderliche Stellung. Bringe an die Stelle *D* der Rinne das Blech des Auslösers und lege die Kugel dahinter. Laß die Kugel die Rinne

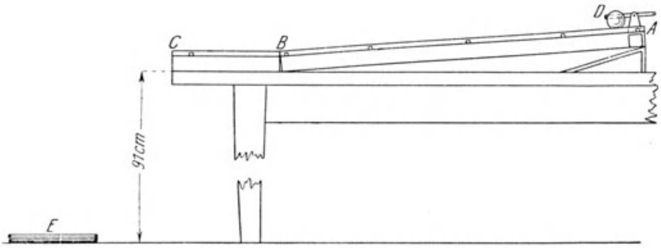

Fig. 74.

hinabrollen und setze auf die Stelle des Fußbodens, wo die Kugel aufschlägt, einen kleinen Kasten *E* mit Watte oder ein Quecksilberbrett, worin ein mit Kohlepapier bedecktes Blatt Millimeterpapier liegt. 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.

Geräte. Mariottesche Flasche. 2 Bechergläser. Wage nebst Massensatz. Fallrinne von 2 m Länge. Lagerkugel von 5 cm Durchmesser. Auslöser. Auffangeklotz. Keil. Millimeterpapier. Stechuhr. Untersatzklotz.

Anleitung. **1)** Gleiche auf der Wage das Becherglas ab. Fange darin die Wassermenge auf, die in $\sim$ 30 sek (Stechuhr) aus der Mariotteschen 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. 75). Halte mit dem Auslöser eine Kugel am obern 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 abgeglichenes kleines Becherglas. Laß aus der Flasche das Wasser ausfließen und gib gleichzeitig die Kugel frei. Unterbrich den Wasserausfluß in dem Augenblick, wo die Kugel gegen den Auffange-

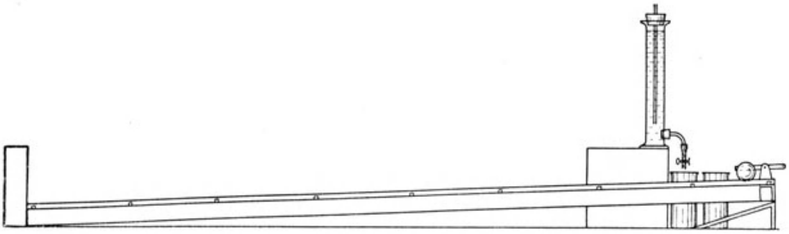

Fig. 75.

klotz schlägt. Wäge die Wassermasse, die während der Fallzeit ausgeflossen ist, und berechne daraus die Fallzeit.

n) Verschiebe den Auslöser, 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 bildlich dar und setze dabei $x = s$ und $y = t^2$. Zieh eine Gerade, die sich der Kurve möglichst anschmiegt, und berechne aus dem Richtungswinkel die Beschleunigung. Bestätigen diese Versuche die Annahme und die Schlüsse Galileis?

q) Gib der Fallrinne eine Neigung von $\sim 10^0$, wiederhole die Versuche, die Berechnungen und die bildliche Darstellung von (m) bis (p). Vergleiche für beide Neigungen das Verhältnis der $\sin\alpha$ mit dem Verhältnis der Mittelwerte von b.

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 wird, die Gleichung $s = {}^1/_2\, b\, t^2$ besteht, und daß bei einer Rinne, die unter dem Winkel α gegen die Wagerechte geneigt ist, die Beziehung $b = g \sin \alpha$ gilt, wo g die Fallbeschleunigung bedeutet. Wird die Rinne senkrecht gestellt, also $\alpha = 90^0$, 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.*

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, woraus die Bleiwalzen 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. 76 den Fallkörper an einem Seidenfaden auf, der so lang ist, daß dieser den Pendelstab zur Seite ziehende Doppelkegel 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 hangenden 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 zweckmäßig gerichtete leichte Stöße oder mit einem Pinsel oder einer Feder zur Ruhe, oder warte,

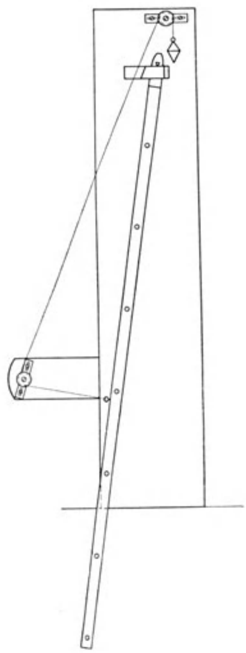

Fig. 76.

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 untern 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?

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	$H-h$	Schwingungs-zeit t sek	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungs-dauer $\tau = t/N$	$\frac{(^1/_4\,\tau)^2}{H-h}$
				Mittel	. . . .	. . . . .

d) Setze Bleiwalzen 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 bildlich 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

$$g = 2\,\frac{H-h}{(^1/_4\,\tau)^2}.$$

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 wagerechten, gleichförmigen 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

(Handbuch S. 149.)

2. Verfahren.

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. Packards Fallrinne. Lagerkugel von 2,5 cm Durchmesser. Reißschiene. Winkel. Millimeterpapier. Kohlepapier. Reißnägel. Meterstab. Holzkeil oder Holzklotz.

Anleitung. **e)** Gib dem Reißbrett eine schwache Neigung ($\alpha = 15^\circ$). Setze die Fallrinne so auf das Reißbrett, daß die untere Rinnenkante der obern Brettkante gleichläuft (Fig. 77). Hefte ein Blatt Millimeterpapier so daneben, daß dessen Linien den Kanten des Bretts gleichlaufen, und lege ein Blatt weiches Kohlepapier darüber. Kennzeichne das Ende der Fallrinne darauf. Laß die Kugel erst 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 Bleistifte die Spur der Kugelbahn nach. Zieh 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 dem Anfangspunkt nicht zu nahe liegen, die Abszissen und die 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 Höhe des Reißbretts und bestimme so seinen

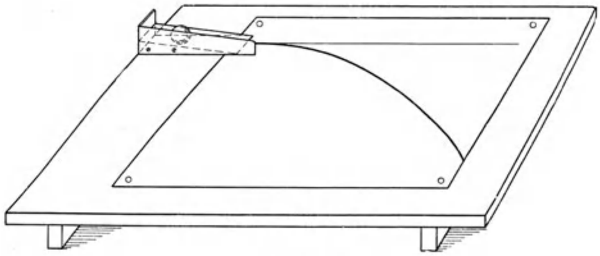

Fig. 77.

Neigungswinkel α. Berechne hieraus und aus dem Mittelwert von $2y/x^2$ die Anfangsgeschwindigkeit c der Kugel. Bestimme den Brennpunkt und den Parameter der Bahn. Leite aus der Bahn die Geschwindigkeitskurve und die Beschleunigungskurve ab.

IV. Einfaches Pendel.

4. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Schwingungsweite ab?*

Geräte. Taktschläger oder Stechuhr. Kugel. Pendelaufhängung. Dünnes Baumwollgarn. Schere. Maßstab. Schublehre. 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. Zieh 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 zieh 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 Punkts der Kugelöse vom Aufhängepunkt des Fadens, d. h. der untern 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 Punkte 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 scharf auf den Deckel des Notizbuchs (nicht auf den Tisch) und sage Null, sobald die Kugel genau mit dem Schlage des Taktgebers den Kreidestrich von links nach rechts kreuzt. Zähle beim nächsten Durchgang der Kugel von links nach rechts leise 1 usw. und beobachte so ~ 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 Taktgebers den Kreidestrich kreuzt. Klopfe in demselben Augenblick nochmals scharf auf das Buch. Der Mitarbeiter zählt die Schläge des Taktgebers 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 bei dem Anfang und bei dem Ende des Versuchs auf. Berechne die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. *Schwingungsdauer.*

d) Bestimme die Schwingungsdauer bei derselben Anfangs-Schwingungsweite nochmals und nimm aus beiden Werten das Mittel. Doch zähle diesmal selbst die Schläge des Taktgebers, 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 $l =$ . . . [cm]. Taktschläger Nr. . . .

	Anzahl der Schwingungen N	Schwingungszeit			Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$	Mittlere Schwingungsdauer τ sek	Schwingungsweite		Mittlere Schwingungsweite a cm
		min	sek	t sek			zu Anfang cm	zu Ende cm	
a							5		
b							5		

g) Hängt bei kleinen Schwingungsweiten, die nicht größer als der zehnte Teil der Pendellänge sind, die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite ab? *Zeitmessung.*

5. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Masse der schwingenden Kugel ab?*

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 dreimal 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 dem Versuch (a) und zähle so viel Schwingungen, wie du kannst. Haben beide Kugeln gleiche oder verschiedene Schwingungsdauern?

6. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge eines Pendels?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, dazu Lot. Karton. Millimeterpapier. Holzklötze. Reißnägel. Schere.

Anleitung. **a)** Bestimme wie in Aufgabe 4 (b) bis (d) die Schwingungsdauern von Pendeln, deren Längen 120, 100, 90, 80, 40, 30, 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 vor einem schwarzen Hintergrund oder einen schwarzen Karton mit lotrechtem weißem Strich auf und vor dem Pendelfaden einen Karton mit einem 3 mm breiten Schlitz. Ist das Pendel in Ruhe, so müssen sich Pendel und Lot oder Strich decken, wenn man durch den Schlitz sieht.

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, 30 und 120 cm und die Schwingungsdauern für die Pendellängen 10 und 90 cm miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge des Pendels?

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Taktgeber 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 bildlich 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 Taktgeber 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.

V. Kraft und Masse.

7. Aufgabe. *Wie kann man die Größe einer Kraft durch Messung von Masse, Länge und Zeit bestimmen?*

(Handbuch S. 155.)

VI. Anstoß und Bewegungsgröße.

8. Aufgabe. *Hängt die Geschwindigkeit, womit die Pendelkugel durch die Gleichgewichtslage geht, von der Schwingungsweite ab?*

Geräte. 2 Pendelkugeln. 2 Pendelaufhängungen. Garn. Schere. Holzklötze. 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. 78) 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.

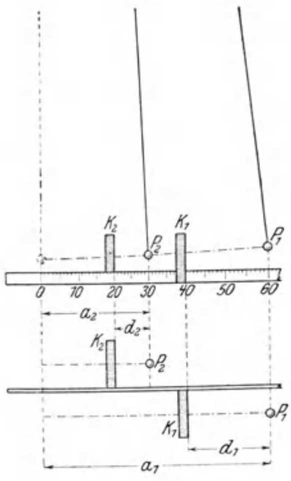

Fig. 78.

b) Laß gleichzeitig beide Kugeln los und beobachte sehr aufmerksam das Anschlagen der Kugeln. Treffen beide die Klötze gleichzeitig?

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 Kugelgeschwindigkeiten mit dem Verhältnis der wagerechten Ablotungen der Bahnen, auf denen sich die Kugeln bewegen. Wie verhalten sich also die Geschwindigkeiten, mit denen eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage geht, zu den Schwingungsweiten?

9. Aufgabe. *Wie ändern sich bei dem Zusammenstoßen zweier Kugeln ihre Bewegungsgrößen?*

Geräte. 2 Elfenbeinkugeln mit Öse. Aufhängebrett. Kupferdraht. Grundbrett. Beißzange. Hakenstifte. Hammer. Bindfaden. Zwinge. Glaserkitt oder Klebwachs. 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 Bretts (Fig. 79). 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. 80). 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 verhalten sich die Geschwindigkeiten, mit denen eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage geht, wie die Schwingungsweiten. 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, den die Mitte von M nach dem Stoß zurücklegt, sei A_2 und der Weg der Mitte von m nach dem Stoß a_2. Wir rechnen alle Wege, die im Sinn der wachsenden Zahlen auf dem Maßstab durchlaufen werden, 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 von der andern Kugel berührt wird. 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 hangen. 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.

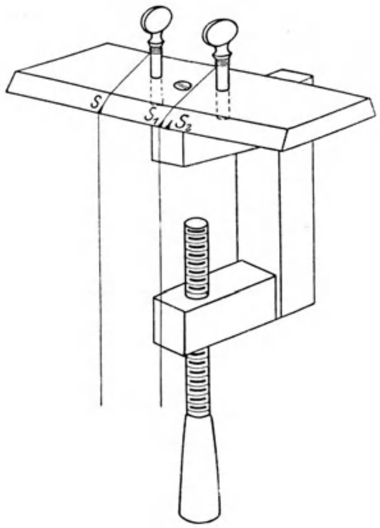

Fig. 79.

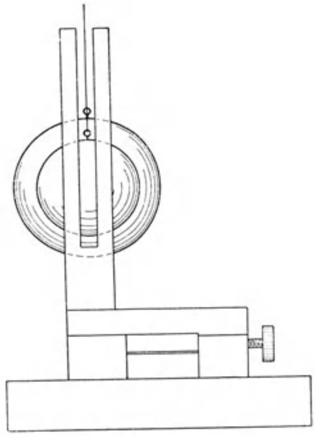

Fig. 80.

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 sich wie die Bewegungsgrößen verhalten. 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 Bewegungen 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?

h) Mache $A_1 = 20$ cm und $a_1 = 25$ cm. Löse gleichzeitig beide Kugeln aus. Das Auslösen muß ein Schüler allein ausführen.

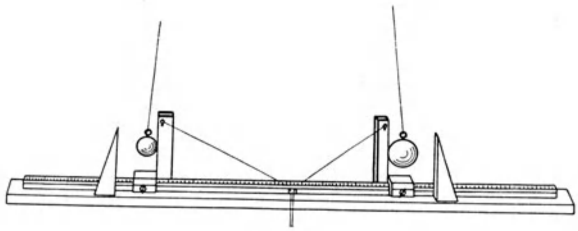

Fig. 81.

Binde an die Ösen auf 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. 81). Zieh, 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 bei dem Stoß federnder Körper aufstellen?

k) Hänge die Drähte in die Schlitze S und S_2 des Aufhängebretts. 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 knetbarer Körper aufstellen?

10. Aufgabe. *Bestimme mit der Stoßwage die Masse eines Körpers.*

Geräte. Hicks Stoßwage. Zwei 500 gr-Stücke. 1 kg-Stück. 1 Stück Blei von $\sim$ 750 gr. Wage. Gewichtsatz.

Anleitung. a) Stelle auf jedes Brettchen 500 gr, lies für die Gleichgewichtslage die Stellungen der innern Ränder der Zeiger ab, zieh beide Pendel um gleiche Strecken zur Seite und laß sie dann gleichzeitig los. Wo treffen sie sich? Vernichten sich ihre Bewegungen? *Dynamische Begriffsbestimmung 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. Ändere die Schwingungsweite des linken Brettchens, bis beide Pendel beim Zusammenstoßen ihre Geschwindigkeiten gegenseitig vernichten. Berechne die angenäherten Bewegungsgrößen und trage sie in die folgende Tafel ein.

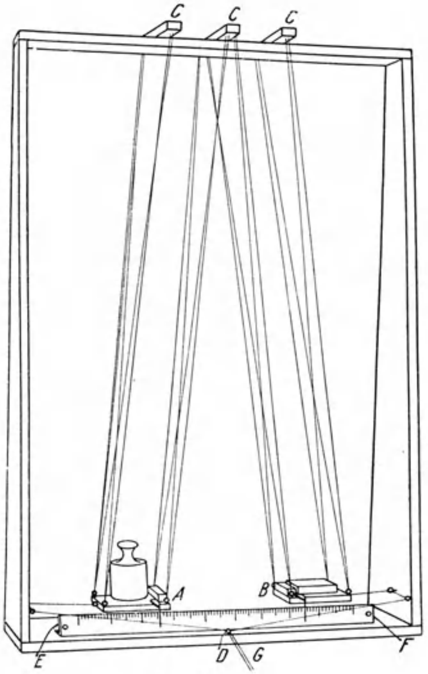

Fig. 82.

Stoßwage Nr. . . .

Linkes Pendel				Rechtes Pendel				
m_1 gr Masse	Nullage cm	Verschiebung a_1 cm	Angenäherte Bewegungsgröße $m_1 a_1$	Masse m_2 gr	Nulllage cm	Verschiebung a_2 cm	Angenäherte Bewegungsgröße $m_2 a_2$	$m_1 a_1 - m_2 a_2$
							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. 82). Ermittle 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 $m a_1 - 500 a_2 = 0$, 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 Bleistücks mit der Wage.

VII. Arbeit und Wucht.

11. Aufgabe. *An das eine Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt. Ihr Gewicht dreht das Rad. Welche Wucht erlangt die sinkende Masse?*

Geräte. Rad mit wagerechter Achse. 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. 83). 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.

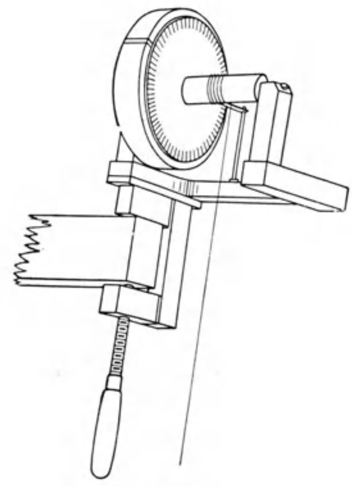

Fig. 83.

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].

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schwungrad Nr. . . .

Sinkende Masse m gr	Falltiefe h cm	Fallzeit t sek	Endgeschwindigkeit $v = 2\,h/t$ [cm/sek]	Wucht der aufschlagenden Masse $Q = {}^1/_2\, mv^2$ [Erg]

e) Wiederhole den Versuch mit andern Massen (150, 200, 250 gr) und verschiedenen Falltiefen.

2. Verfahren.

f) Verfahre wie vorher. Miß jedoch die Fallzeit t sek und die Anzahl n der Umdrehungen während des Sinkens. Ist beim Aufschlagen der Masse z die Umlaufzahl für 1 sek., so ist die mittlere Umlaufzahl des Rades $^1/_2\, z$ und die Anzahl n der Umdrehungen während des Sinkens $n = {}^1/_2\, zt$ und mithin $z = 2n/t$.

g) Wickle die Schnur wie bei (b) auf die Achse, drehe das Schwungrad n'-(~ 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 $v = h_1 z = 2nh_1/t$.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Sinkende Masse m gr	Anzahl der Umdrehungen während des Sinkens n	Fallzeit t sek	Umlaufzahl 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) von dem Beginn der Raddrehung bis zu dem Aufschlagen der Masse und die Zeit (T sek) von dem Beginn des Drehens bis zu dem 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 Umlaufzahl für eine Sekunde N/T. Bezeichnet z die Umlaufzahl für eine Sekunde bei dem Aufschlagen des Gewichts, so ist die mittlere Umlaufzahl $^1/_2\, z = N/T$ und mithin $z = 2N/T$. Ist h_1 die Falltiefe für eine Umdrehung des Rades, so ist die Geschwindigkeit der aufschlagenden Masse $v = h_1 z = 2Nh_1/T$ und deren Wucht $Q = {}^1/_2 m v^2$ [Erg].

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Sinkende Masse m gr	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).

12. Aufgabe. *An dem einen Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt. Ihr Gewicht dreht das Rad. Welche Arbeit wird beim Sinken des Gewichts zur Überwindung der Achsenreibung verbraucht?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11 S. 108.

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 die Masse m ($\sim$ 100) gr, laß sie zu Boden sinken und ihr Gewicht das Rad drehen. Bestimme die Zahl N der Umdrehungen von dem Beginn der Bewegung bis zu dem 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 zu dem Stillstehen des Rades? Sie überwindet die Achsenreibung. Welche Arbeit wird also von dem Beginn der Drehung bis zu dem Stillstehen des Rades zu der 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 von dem Beginn der Bewegung bis zu dem 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 weitern Ergebnisse in folgender Weise:

Sinkende Masse m gr	Fall-tiefe h cm	Positive Arbeit der sinkenden Masse $Q = mgh$ [Erg]	End-geschwin-digkeit der sinkenden Masse v cm/sek	Wucht der sinkenden Masse $Q_3 = {}^1/_2 mv^2$ [Erg]	Anzahl der Umdrehungen bis zum Auf-schlagen der Masse n	Anzahl der Umdrehungen bis zum Still-stehen 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, womit sich das Rad bei den beiden Verfahren dreht. Vergleiche ferner die Belastungen der Achse bei den beiden Verfahren. Haben die Geschwindigkeit und die Belastung einen Einfluß auf die Reibung? Vergleiche auch die Belastungen mit dem Gewichte des Schwungrades. Bei welchem Verfahren werden die Versuchsbedingungen am wenigsten geändert? Welches der beiden Verfahren ist also vorzuziehen?

13. Aufgabe. *Wie groß ist die Wucht des Schwungrades in dem Augenblick, wo das Gewicht der sinkenden Masse aufhört, darauf zu wirken?*

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 ist nach Aufgabe 12_2 die Arbeit

$$Q_1 = \frac{n}{N}(mgh - {}^1/_2\, mv^2)\ [\text{Erg}]$$

verbraucht worden.

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 wie bei den Aufgaben 11_1 und 12_2 für die sinkenden Massen 100, 150, 200 und 250 gr die Wucht Q_2 des Schwungrades.

c) Stelle die Ergebnisse bildlich 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 *Drehhalbmesser* 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 die *Drehmasse* 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 die Drehmasse und mit M den Drehhalbmesser des Rades.

14. Aufgabe. *Wie groß ist der Drehantrieb der Achsenreibung und die Drehmasse eines Rades?*

Geräte. Rad mit wagerechter Achse. Schnur. Belastungsgewichte. Maßstab. Schublehre. Wage. Gewichtsatz. 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, einmal, wenn es hinaufgewunden ist, und das andere Mal, wenn es die Stellung hat, wo die Schnur vom Stift abfällt. Wie groß ist die gewonnene Macht (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 Rad und dem fallenden Körper eine gewisse Wucht.

d) Die Arbeit Q_1, die zur Überwindung der Achsenreibung erforderlich ist, mißt man mit dem Produkt aus dem Drehantrieb P dieser Reibung und dem Winkel $2\pi n$, um den sich das Rad von dem Beginn der Bewegung bis zu dem Abfallen der Schnur dreht. Der Drehantrieb P der Reibung ist der Antrieb, der 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) Ermittle 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 (vgl. S. 112)

$$Q_2 = {}^1/_2 K \omega^2,$$

wenn K die Drehmasse und ω die Winkelgeschwindigkeit des Rades bezeichnen. 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 größte Winkelgeschwindigkeit ω doppelt so groß ist,

$$\omega = \frac{4\pi n}{t}.$$

h) Die Wucht Q_3 des fallenden Gewichts mg selbst ist ${}^1/_2 m v^2$. 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

$$v = 4\pi n \cdot \frac{r}{t}.$$

Ermittle, falls h selbst gemessen worden ist, v auch aus der Beziehung $v = 2h/t$. Berechne aus dem so erhaltenen Wert 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 die Drehmasse 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 $n = \ldots$
Drehwinkel $2\pi n = \ldots$ [Radiant].
Fallhöhe $h = 2\pi n \cdot r = \ldots$ [cm].
Masse des Fallkörpers $m = \ldots$ [gr].
Gewicht des Fallkörpers $mg = \ldots$ [Dyne].
Macht (Arbeitsvorrat) des hinaufgewundenen Fallkörpers
$Q = mgh = \ldots$ [Erg].
Masse des Reibgewichts (Mittelwert) $m_0 = \ldots$ [gr].
Reibgewicht $m_0 g = \ldots$ [Dyne].
Drehantrieb 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].
Größte Winkelgeschwindigkeit 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].
Drehmasse des Rades $K = 2(Q - Q_1 - Q_3)/\omega^2 = \ldots$ [cm²gr].

l) Den Drehantrieb 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 hier erst K und dann daraus P berechnen. Da

$$Q = 2\pi n \cdot mg \cdot r$$

$$Q_1 = 2\pi n \cdot P = \frac{8\pi^2 n^2}{n'} \cdot \frac{K}{t^2}$$

$$Q_2 = 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{K}{t^2}$$

$$Q_3 = 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{mr^2}{t^2}$$

und

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

so liefert eine leichte Rechnung

$$K = \frac{mr\left({}^1/_2 gt^2 - h\right)}{2\pi n\left(1 + \frac{n}{n'}\right)}.$$

Berechne mit dieser Formel K und daraus P. Vergleiche den so erhaltenen Wert von P mit dem, der sich aus Versuch (e) ergeben hat.

Dritter Teil.

Eigenschaften der Flüssigkeiten.

1. Aufgabe. *Wie kann man mit einer U-Röhre die Dichten zweier Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, miteinander vergleichen?*

Geräte. U-Röhre. 2 Bunsengestelle. Lot oder Stahlwinkel und Wasserwage. Maßstab. Papier. Schere. Klebwachs. Quecksilber oder Terpentinöl, Paraffinöl, Petroleum. 2 Trichter, über deren Hälse kurze Kautschukschläuche gestreift sind. Thermometer. Quecksilberbrett. Quecksilberzange. Becherglas.

Anleitung. **a)** Klemme die Röhre ungefähr 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 oder stelle den Maßstab hinter der Röhre genau lotrecht so 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 ~ 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. Gib acht, daß nicht das Wasser das Quecksilber aus der Biegung hinausdrückt. Ist dies zu befürchten, so fülle mit dem ersten Trichter im andern Schenkel Quecksilber nach.

d) Tauche das an einem Faden hangende Thermometer eine Minute lang erst ins Quecksilber und dann ebenso lange ins Wasser und lies die Warmheit jeder Flüssigkeit ab.

e) Klopfe leise gegen die Röhre und lies dann am Maßstabe 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. 84).

Besitzt man keinen Spiegelmaßstab, so schneidet man zwei lange schmale Papierstreifen mit geraden, glatten und gleichlaufenden Rändern. Das eine Ende jedes Streifens rollt man zu einer Papierhülse, die eben über die Glasröhre paßt, und heftet den Ring mit etwas Klebwachs zusammen. Das gerade andere Ende des Streifens soll als Zeiger über die Teilung des Maßstabes hinwegragen (Fig. 85). 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

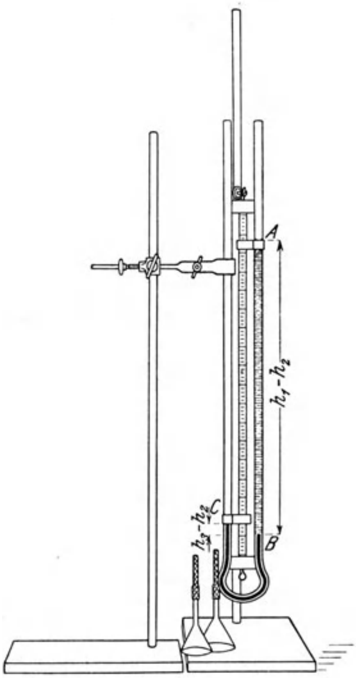

Fig. 84.

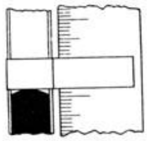

Fig. 85.

Rand) des Zeigerrings berührt, wenn man das Auge so hält, daß das vordere und hintere Stück des Randes genau zusammenfallen.

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 Querschnitts) 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 der Quecksilbersäule. 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) Miß nochmals die Warmheiten (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. . . .

Wärmestufe des Quecksilbers am Anfang . . .^{0} C, am Ende . . .^{0} C.
Wärmestufe des Wassers am Anfang . . .^{0} C, am Ende . . .^{0} C.
Die Dichte des Wassers bei der Wärmestufe . . .^{0} C ist $\varrho_w = \ldots$ [gr/cm^3].

	1. Messung h_v cm	2. Messung h'_v cm	Unterschied $h'_v - h_v$
Höhe von A			
B			
C			

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

n) Laß den Lehrer die U-Röhre entleeren und reinige sie dann gründlich.

2. Aufgabe. *Wie kann man mit einer U-Röhre die Dichten zweier sich mischenden Flüssigkeiten vergleichen?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, doch statt Quecksilber gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat, dazu Pipette. Klebepapier.

Anleitung. a) Gieß etwas Quecksilber ($\sim$ 5 cm hoch) in die Röhre und klebe sorgfältig um den einen Schenkel ein Stück Papier derart, daß dessen unterer 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 $\sim$ 5 cm unter dem obern Rande liegt. Achte darauf, daß dabei 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 andern 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 den Überschuß mit der Pipette oder mit Fließpapier.

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).

3. Aufgabe. *Welchen Gewichtsverlust erleidet ein Körper, den man ganz in eine Flüssigkeit eintaucht?*

Geräte. Wage. Gewichtsatz. Brücke. Walze. Schublehre. Seidenfaden. Schere. Pipette. 2 Bechergläser (600 cm³). Unterlegklötze. Thermometer. Kamelhaarpinsel. Bunsengestell.

Anleitung. **a)** Schlage nach, welchen Raum die Walze Nr. . . . einnimmt, oder miß wie in Teil 1 Aufgabe 3 und 4 (S. 6 u. 8) ihren Durchmesser und ihre Höhe und berechne daraus ihren Inhalt. Wieviel Kubikzentimeter Wasser verdrängt die Walze? Wieviel Grammgewicht Wasser sind dies?

b) Setze über die linke Wagschale die Brücke und darauf das leere Becherglas. Achte darauf, daß die Brücke die Schale nicht

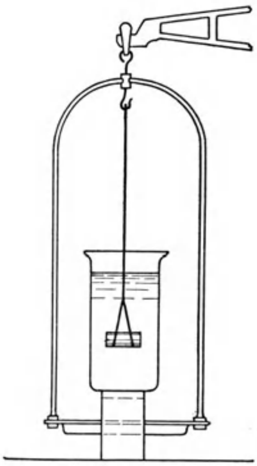

Fig. 86.

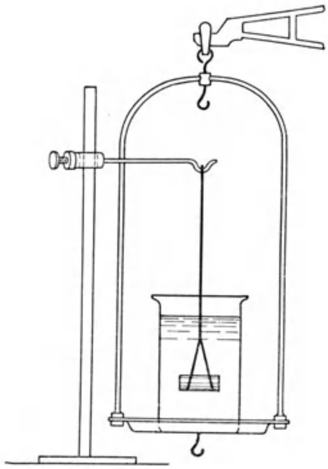

Fig. 87.

berührt. Hänge mit einer Watsonschen Doppelschleife die Walze so an den Haken des Schalenbügels, daß sie 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 an der Walze. Lege auf die andere Wagschale einen Faden, der so lang wie der Aufhängefaden 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*) der Walze.

c) Nimm vorsichtig das Becherglas von der Brücke, laß aber die Walze an der Wage hangen. Fülle so viel Wasser in das Glas, daß die Walze vollkommen darin untertaucht, wenn man sie später hineinhängt und die Wage ins Gleichgewicht bringt. Stelle das Becherglas wieder auf die Brücke und hänge die Walze hinein. Entferne sorgfältig alle Luftblasen mit einem Pinsel oder durch Auf- und Abbewegen der Walze und sieh nach, ob diese irgendwo die Glaswand oder ob die Brücke die Wagschale berührt. Stelle das Gleichgewicht her und bestimme das Gewicht (F_2 gr*) der Walze, während sie ganz ins Wasser eintaucht (Fig. 86).

d) Wieviel Grammgewicht hat die Walze verloren? Ist die Walze an sich wirklich leichter geworden? Wer übt einen Gegendruck auf sie 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:

Walze Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . .

Gewicht der Walze in der Luft $F_1 = \ldots$ [gr*].
Gewicht der Walze im Wasser $F_2 = \ldots$ [gr*].
Auftrieb der eingetauchten Walze $F_a = F_1 - F_2 = \ldots$ [gr*].
Raum des verdrängten Wassers $V = \ldots$ [cm^3].
Gewicht des verdrängten Wassers $F = \ldots$ [gr*].
Unterschied $F_a - F = \ldots$ [gr*].

f) Nimm die Brücke weg, setze das Becherglas mit Wasser auf die linke Schale und gleiche es ab.

g) Hänge mit dem Faden die Walze so an einem Gestell auf, daß sie ganz in das Wasser im Becherglas eintaucht, ohne dessen Wand zu berühren (Fig. 87), und bestimmt die Gewichtsvermehrung [F' gr*].

h) Vergleiche den Abtrieb F', den die Walze auf das Wasser ausübt, mit dem Auftrieb F_a, den das Wasser auf die Walze ausübt.

i) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m).

k) Trockne die Walze tüchtig ab, reinige das Becherglas und stülpe es auf das Ablaufbrett.

4. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte eines Glasstopfens?*

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 Gewichtsverlust (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/cm^3].

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 $V = \ldots$ [cm^3].
Masse des Stopfens $m = \ldots$ [gr].
Dichte des Glases $\varrho = m/V = \ldots$ [gr/cm^3].

f) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m) und in Aufgabe 3 (k).

5. Aufgabe. *Wie dick ist der vorgelegte Kupferdraht?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, nur statt des Glasstopfens 6 m Kupferdraht, dazu: Meterstab. Beißzange. Abgleichbecher. Abgleichschrot. Feinschraube.

Anleitung. **a)** Schneide ein 6 m langes Stück Kupferdraht ab, wickle 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 cm^3), den der Draht einnimmt. Der Draht wird nicht gewogen, sondern nur abgeglichen.

c) Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt (q cm^2), der Länge (l cm) und dem Raum des Drahts?

d) Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt und dem Halbmesser des Drahts? Berechne den Halbmesser (r cm) und daraus den Durchmesser (d cm) des Drahts. Gib an, wieviel Millimeter der Draht stark ist.

e) Miß mit der Feinschraube an drei Stellen des Drahts 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).

6. Aufgabe. *Welche Dichte hat das vorgelegte Stück Paraffin?*

Geräte. Wie bei Aufg. 4, doch statt des Glasstopfens ein Paraffinstück, dazu: Bleikugel mit Haken als Senker. Abgleichbecher. Abgleichschrot,

Anleitung. **a)** Setze über die linke Wagschale 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 dieses 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 Paraffinstücks.

c) Hänge nun den Senker an die untere Fadenschleife. Fülle so viel Wasser ins Becherglas, daß später nur der Senker, nicht aber das Paraffinstück, ins Wasser eintaucht. Stelle das Becherglas auf die Brücke, laß den Senker ins Wasser eintauchen und stelle durch Abgleichen das Gleichgewicht her (Fig. 88).

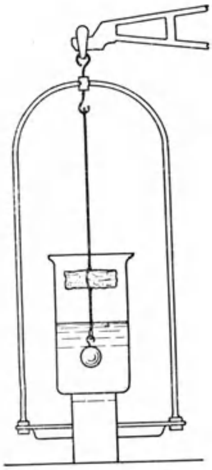

Fig. 88.

d) Fülle so viel Wasser ins 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 Paraffinstücks seine Dichte (ϱ gr/cm^3).

g) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k).

7. Aufgabe. *Wie groß ist die Dichte eines Cuprisulfat-Kristalls?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 4, nur statt des Glasstopfens ein Cuprisulfat-Kristall und statt des Wassers eine gesättigte Cuprisulfatlösung oder eine andere Flüssigkeit, z. B. Terpentinöl, worin sich der Kristall nicht löst.

Anleitung. a) Bestimme wie in Aufg. 3 (b) und (c) die Masse und den Auftrieb des Kristalls in einer gesättigten Cuprisulfatlösung.

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.

8. Aufgabe. *Bestimme mit der Wage die Dichte einer Flüssigkeit.*

Geräte. Wie in Aufgabe 3, nur statt der Walze 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 Warmheiten des Wassers und der andern Flüssigkeiten. Der große Glasstopfen wird nicht gewogen, sondern nur abgeglichen. 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 die 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.

Vierter Teil.

Eigenschaften der Gase.

1. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Warmheit zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse?*

Geräte. Barometer. MELDES Kapillar-Barometer. 2 Maßstäbe. Gestell mit drehbarer Klemme. Reißschiene oder Lot, Garn und Schere. Quecksilberbrett. Sehr dünner Stahldraht mit einem winzigen Siegellackknopf. Schmaler Ablesespiegel.

1. Verfahren.

a) Lies das Barometer ab oder frage den Lehrer, wie hoch der Luftdruck (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 an und dann nur am offenen Ende. 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 [q cm^3].

c) Miß genau die Länge (l_0 cm) des Quecksilberfadens. Sein Raum ist l_0 [q 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 $V_2 = l_2$ [q cm^3].

e) Miß genau mit Maßstab und Reißschiene oder Lot, wie hoch die Enden A und B des Quecksilberfadens über dem Tisch liegen (Fig. 89). 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 lotrecht steht, das geschlossene Ende aber nach unten gekehrt ist. Miß jedesmal die Höhen

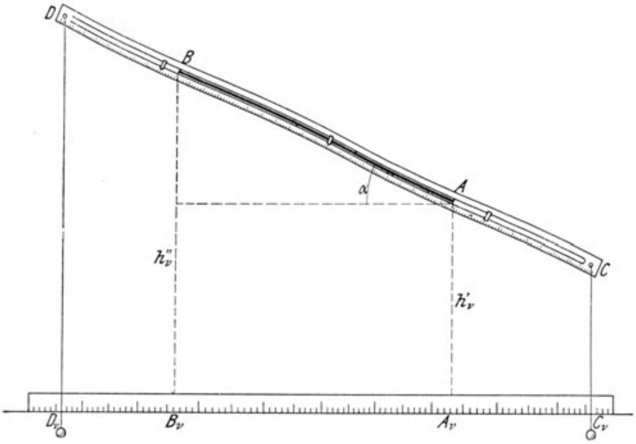

Fig. 89.

h'_ν und h_ν'' der Enden des Quecksilberfadens und berechne die Druckhöhe des Quecksilbers $h_\nu = h_\nu'' - h'_\nu$ und die Spannung der abgesperrten Luft $p_\nu = b - h_\nu$. 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:
Luftdruck $b = \ldots$ cm. Länge des Quecksilberfadens $l_0 = \ldots$ cm.

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft V_ν	Höhe von A über dem Tisch h_ν' cm	Höhe von B über dem Tisch h_ν'' cm	Druckhöhe des Quecksilbers $h_\nu = h_\nu'' - h_\nu'$	Spannung der abgesperrten Luft $p_\nu = b - h_\nu$	$k = p_\nu V_\nu$
					Mittel	. . . . . .

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei $x = V$ und $y = p$. *Hyperbel, Asymptoten.*

i) Mach eine zweite bildliche Darstellung, wo $x = V$ und $y = 1/p$ ist.

k) Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Warmheit zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse? *Gesetz von Boyle.*

l) Ist l_0 cm die Länge des Quecksilberfadens, V_1 der Raum der abgesperrten Luft, wenn die Röhre lotrecht mit dem offenen Ende nach unten steht, und V_n der Raum der Luftmasse, wenn die Röhre lotrecht 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 (c).

n) Stelle die Röhre so auf, daß der Maßstab mit der Tischkante gleich läuft und etwas darüber hinausragt. Hänge an den Enden C und D (Fig. 89) des Maßstabes Lote auf und lege auf den Tischrand einen zweiten Maßstab.

o) Verfahre wie bei (d) bis (f), doch miß nicht den Höhenunterschied der Enden des Quecksilberfadens, sondern die Länge $CD = d$ und ihre Ablotung auf die Tischebene $C_\nu D_\nu = d_\nu$, ferner jedesmal die Länge l_0 des Fadens AB. Ist α_ν der Neigungswinkel des Maßstabes gegen den Tisch, so ist $\cos \alpha_\nu = d_\nu / d$, $h_\nu = l_0 \sin \alpha_\nu$ und die Spannung der eingeschlossenen Luft $p_\nu = b - h_\nu$.

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Luftdruck $b = \ldots$ [cm].
$CD = d = \ldots$ [cm].

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft V_ν	$C_\nu D_\nu = d_\nu$	$\cos \alpha_\nu = \frac{d_\nu}{d}$	Neigungswinkel α_ν	Länge des Quecksilberfadens A	B	$AB = l_0$ [cm]	Druckhöhe des Quecksilbers $h_\nu = l_0 \sin \alpha_\nu$	Spannung der abgesperrten Luft $p_\nu = b - h_\nu$	$k = p_\nu V_\nu$
									Mittel	.....

q) Verfahre wie bei (h) bis (l).

2. Aufgabe. *Vergleiche nach dem Verfahren von* James Watt *die Dichten zweier Flüssigkeiten miteinander.*

Geräte. Dreiwegestück aus Glas oder Messing. 2 Glasröhren. Kurze Glasröhre (Mundstück). 4 kurze Kautschukschläuche. 1 Kautschukschlauch von ~ 50 cm Länge. Kupferdraht. Drahtzange. Beißzange. 2 Bechergläser (600 cm³) oder Glasschalen. Guter Schrauben-Quetschhahn. Maßstab. Papier. Schere. Lot. Wandbrett oder Bunsengestell. 3 Federklemmen. Rizinusöl. Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat. Thermometer.

Anleitung. **a)** Bestreiche die Enden des Dreiwegestücks mit etwas Rizinusöl und streife über den mittlern Schenkel den längern Kautschukschlauch und über jeden Seitenschenkel einen 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 Dreiwegestücks. 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. 90).

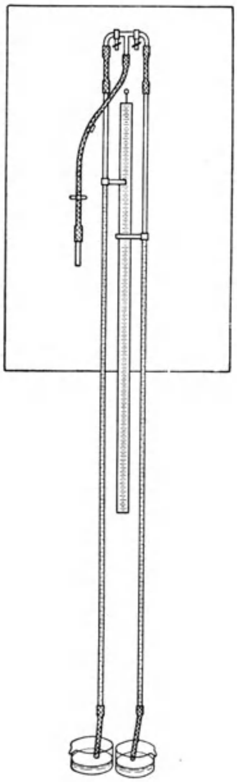

Fig. 90.

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 Warmheit. Spüle nach dem Herausnehmen jedesmal das Thermometer ab und wische es dann trocken. Wurden die Flüssigkeiten emporgezogen oder hinaufgedrückt? 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), in beiden Röhren die Höhen der Flüssigkeitskuppen über den Flüssigkeitsspiegeln in den Gefäßen. 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 Warmheiten der beiden Flüssigkeiten.

h) Wie groß ist die Dichte des Wassers bei der gemessenen Wärmestufe und wie groß also die Dichte der Lösung bei der gemessenen Warmheit?

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Warmheit der Lösung am Anfang . . . ^{0} C, am Ende . . . ^{0} C.
Warmheit des Wassers am Anfang . . . ^{0} C, am Ende . . . ^{0} C,
Dichte des Wassers bei der Warmheit . . . ^{0} C ist $\varrho_w = \ldots$ [gr/cm^3].

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.

Fünfter Teil.

Schwingungen und Wellenbewegungen.

1. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von der Schwingungsweite ab?*

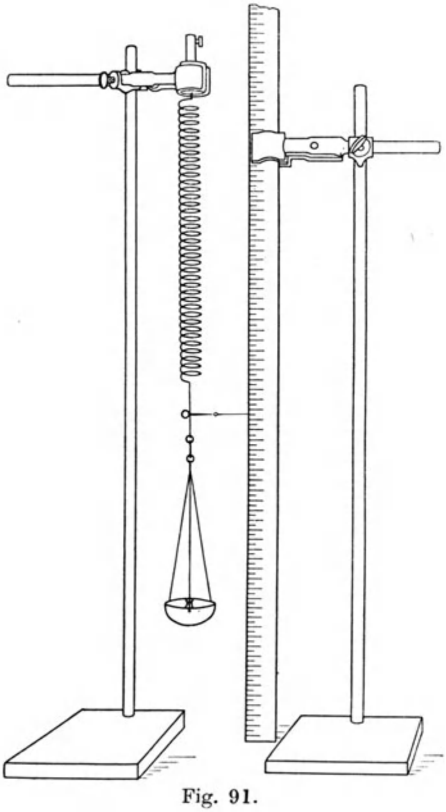

Fig. 91.

Geräte. Spulfeder. Zeiger. Draht. Beißzange. Kleine Wagschale. Gewichtsatz. Stechuhr. Pinsel oder Feder. Maßstab. 2 Bunsengestelle.

Anleitung. a) Befestige wie bei der 1. Aufgabe des 2. Teils (S. 25) die Spulfeder am Gestell, hänge an ihr unteres Ende die Wagschale und belaste diese so stark (mit ∼ 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 bezeichne daran durch einen aufgeklemmten federnden Drahtbügel oder durch eine eingesteckte Nadel die Gleichgewichtslage des Zeigers (Fig. 91). 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 Spulfeder mit der Hand, einem Pinsel oder einer Vogelfeder und beseitige 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:

Spulfeder Nr. . . . Wagschale 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?

2. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer einer Spulfeder und der bewegten Masse?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 1.

Anleitung. a) Wäge die Feder und die kleine Wagschale einzeln. Befestige am Gestell die Spule und belaste die angehängte Schale so stark (mit $\sim$ 30 gr*), daß sie höchstens drei volle Schwingungen in der Sekunde macht. Lege wie in Aufgabe 1 die Gleichgewichtslage des Zeigers fest, der an der Feder angebracht ist. Setze die Spule 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 der Schwingungsdauer das Mittel. Zähle zu der Masse der Belastung die Masse der Wagschale und den d r i t t e n Teil der Masse der Feder hinzu. Die so erhaltene Summe ist die schwingende Masse.

b) Belaste die angehängte Wagschale 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 Wagschale $m'' = \ldots$ [gr].

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer τ sek	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
	min sek	sek							

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 je 5 gr* weg und bestimme die Schwingungsdauer. Trage die Ergebnisse oben in die Tafel ein.

f) Stelle die Ergebnisse von (e) bildlich 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 Wagschale 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?

3. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von ihrem Kraftwert ab?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu: Spiegelmaßstab oder Ablesespiegel. Spulfeder aus federhartem Messingdraht.

Anleitung. **a)** Wäge die Federn und die kleine Wagschale 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 beseitige 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 Anfangsbelastung der Reihe nach um 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 und 50 gr* und lies jedesmal die Zeigerstellung ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . Feder Nr. . . . Masse der Feder $m' = \ldots$ [gr]. Masse der Wagschale $m'' = \ldots$ [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 Dynen gemessene Kraft, die die Feder um ein Zentimeter verlängert, d. h. der Kraftwert der Feder, k_1 Dyne/cm?

g) Belaste die Feder so stark, daß das Gewicht der Schale und der darauf gelegten Massen im ganzen 60 gr* beträgt 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 sek	Kraftwert 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	Kraftwert k_2	τ_1/τ_2	k_2/k_1

i) Bestimme wie in (a) bis (f) den Kraftwert 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 Messingspule.

k) Berechne die Verhältnisse τ_1/τ_2, k_2/k_1, k_1/k_2, $(\tau_1/\tau_2)^2$, $(k_2/k_1)^2$ und $(k_1/k_2)^2$ und vergleiche sie miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer τ und dem Kraftwert k? Fasse die Ergebnisse dieser und der vorigen Aufgabe zusammen.

4. Aufgabe. *Bestimme mit einer schwingenden Spulfeder die Masse eines Körpers.*

(Handbuch S. 193)

5. Aufgabe. *Wie groß ist das Federmaß (der Elastizitätsmodul) einer Kautschukschnur, die Längsschwingungen macht?*

(Handbuch S. 193.)

6. Aufgabe. *Gilt die Formel $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ auch für schwingende Flüssigkeiten?*

Geräte. Röhre. Bunsengestell. Wage und Gewichtsatz. Wassersack. Meßglas bis 100 cm³. Klebpapier. Maßstab. Kautschukschlauch. Quetschhahn. Lot. 2 Bechergläser. Stechuhr.

Anleitung. **a)** Spanne in das Gestell die U-Röhre (Fig. 92) lotrecht ein, fülle sie bis $\sim$ 1 cm unter dem obern Rande mit Wasser, laß etwas davon in das eine Becherglas ausfließen, merke den untern Rand der Kuppen an und laß dann 100 cm³ ausfließen. Lege wiederum den untern Rand der Kuppen fest und miß in beiden Schenkeln die Spiegelsenkungen 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 der Kraftwert $k = 100 \cdot 981/l$ [Dyne/cm].

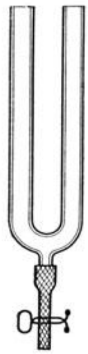

Fig. 92.

b) Bestimme den Kraftwert dreimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

c) Wäge in dem abgeglichenen andern Becherglas $m = 100$ [gr] Wasser ab, gieß es in die U-Röhre, merke den Stand an und versetze die Flüssigkeit durch schwaches taktmäßiges Hin- und Herbewegen der Röhre in Schwingungen. Blase mit einem reinen Kautschukschlauch durch den Wassersack taktmäßig 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	Spiegelsenkung		Länge der ausgeflossenen Wassersäule $2l = l_1 + l_2$	Gewicht des ausgeflossenen Wassers $F = m'g$ [Dyn]	Kraftwert $k = F/l$ [Dyn/cm]
	links l_1 cm	rechts l_2 cm			
				Mittel	. . . .

Schwingende Wassermasse $m = . . .$ [gr].

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer τ	τ^2	$4\pi^2 \frac{m}{k}$	$\tau^2 - 4\pi^2 m/k$
	min sek	sek					
						Mittel	. . . . . .

7. Aufgabe. *Welche Beziehung besteht zwischen der Länge, der Dicke und der Schwingungszahl eines schwingenden Stabes?*

Geräte. Holzstab. Stahlstreifen. Stricknadel. Schublehre. Zwinge mit Feilkloben. Taktschläger oder Stechuhr. Kreide. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Befestige im Feilkloben das eine Ende des Holzstabes so, daß dessen schmale Seite wagerecht liegt (Fig. 93). Zieh unter der Gleichgewichtlage des Stabes mit Kreide einen Strich auf dem Tisch. Stelle den Taktgeber so ein, daß er Sekunden schlägt. Zieh das freie Ende des Stabes etwas zur Seite und laß es los. Klopfe, sobald der Stab genau mit dem Schlage des Taktgebers über den 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 Taktgebers über den Strich

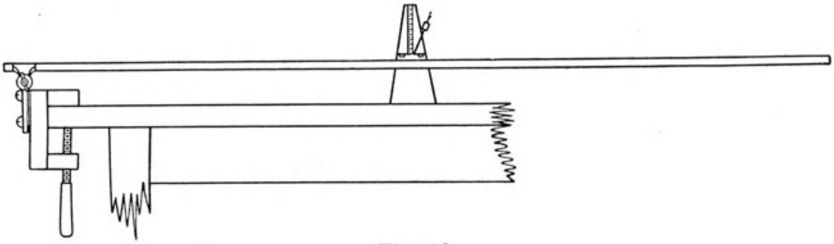

Fig. 93.

hinweggeht, von neuem mit dem Bleistift gegen den Heftdeckel. Der Mitarbeiter sagt bei dem ersten Klopfen Null und zählt leise von da ab alle Taktschläge bis zu dem zweiten Klopfen. Berechne aus der beobachteten Zahl N der Schwingungen und der Schwingungszeit t 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 Stabteils an verschiedenen Stellen und bilde die Mittelwerte. 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 einige Zentimeter 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 $d =$ cm.

Zahl der Schwingungen N	Schwingungszeit t sek	Schwingungszahl $n' = N/t$	Mittlere Schwingungszahl n	n^2	Länge des schwingenden Stabteils l cm	l^2	$n^2 l$	$n l^2$

g) Stelle die Ergebnisse bildlich 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 $n^2 l$ wie beim Pendel stets den gleichen Wert hat, und wenn nicht, ob dies bei nl^2 der Fall ist.

h) Wiederhole den Versuch (a) und drehe dann den Stab, ohne seine Länge im geringsten zu ändern, um 90°, so daß seine Breitseite 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 Stabteils $l = \ldots$ 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? $n = \text{konst.}\, d/l^2$.

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. Gib dem Streifen die Gestalt einer Stimmgabel, halte ihn zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und untersuche seine Schwingungen.

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 Tons?

8. Aufgabe. *Gilt für die Schwingungen eines Stabes auch die Beziehung* $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$?

Geräte. Stahlstreifen. Zwinge. Holzklötze. Schemel. 20 kg*-Stück. Leichte Wagschale. Kleine Haken. Klebwachs. Garn. Schere. Spiegelmaßstab. NOACKS Diopter. Bunsengestell mit Haken. Wage. Gewichtsatz. 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 20 kg*-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

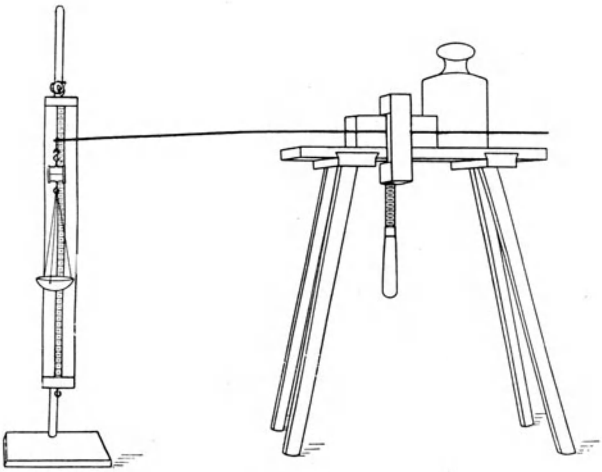

Fig. 94.

und daran die Wagschale (Fig. 94). Lies am Maßstab die Gleichgewichtstellung n'_0 des Diopterstrichs ab.

b) Belaste die Schale der Reihe nach mit $F = 1, 2, 3 \ldots 10$ [gr*] und lies jedesmal auf dem Maßstabe 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 Gleichgewichtstellung n''_0 der unbelasteten Schale.

e) Nimm aus den zusammengehörigen Werten der Dioptereinstellungen das Mittel n und bestimme die Senkungen $h = n - n_0$ des Stabendes. Berechne aus der Summe der Senkungen und der Summe der Belastungen wie in Aufgabe 3 (f) S. 130 den Kraftwert $k' = F/h$ [gr*/cm], gemessen durch die Anzahl Grammgewichte, die das Stabende um 1 cm senken, und daraus den Kraftwert $k = k'g$ [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*	Dioptereinstellungen in cm n'	n''	Mittel n	Senkungen $h = n - n_0$
Summe	. . . . . .			Summe	. . . .

$k' = \ldots$ [gr*/cm.] $k = \ldots$ [Dyne/cm].

g) Nimm die Wagschale 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 bezeichne mit einer hineingesteckten Nadel oder mit einem aufgeklemmten Drahtbügel die Gleichgewichtslage 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 Gleichung $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ befriedigen.

9. Aufgabe. *Vergleiche die Richtkräfte verschiedener Drähte miteinander.*

Geräte. Federharter Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser. Harter Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser. Zwinge mit Feilkloben. Drillscheibe. Klemmschraube. Beißzange. Feder oder Pinsel.

Anleitung. a) Bei Drillschwingungen hängen die Drehmasse (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; hierbei ist die Schwingungsdauer τ_1, die Richtkraft D_1 und die Drehmasse K. Dann verwenden wir ein Stück desselben Drahts von 50 cm Länge; nun ist die Schwingungsdauer τ_2, die Richtkraft D_2 und die Drehmasse wiederum K. Wir haben daher

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}.$$

b) Schraube die Zwinge an den Wandgalgen, klemme das obere Ende des Messingdrahts zwischen die Backen des Klobens und befestige am untern Ende mit der Klemme die Drillscheibe (Fig. 95). Passe dabei die Länge des Drahts 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 Gleichgewichtsmarke nennen.

c) Drehe die Scheibe um 90^0 und laß sie los. Hemme durch Berühren des Drahts 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 Gleichgewichtsmarke 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 ~ 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.

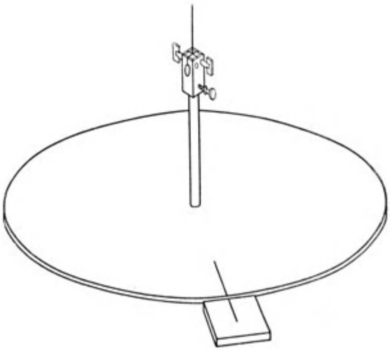

Fig. 95.

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. Umkehrpunkts 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.

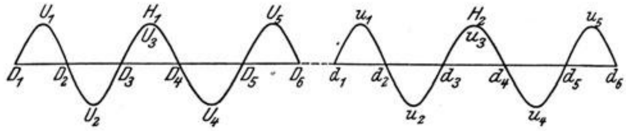

Fig. 96.

An der bildlichen Darstellung Fig. 96, wo D_ν und d_ν die Durchgänge des ersten und des 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 Drahts 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?

10. Aufgabe. *Wie groß ist die Drehmasse (Trägheitsmoment) der Drillscheibe und die Richtkraft des Aufhängedrahts?*

Wie groß ist die Drehmasse eines Stabes mit kreisförmigem Querschnitt, bezogen auf den Kreisdurchmesser?

Geräte. Wie bei Aufgabe 9, dazu: Drillring. 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, daß der Draht durch seinen Mittelpunkt geht (Fig. 97) und bestimme die Schwingungsdauer τ_2.

c) Ist K_1 die Drehmasse der Scheibe, K_2 die Drehmasse des Ringes und D die Richtkraft des Drahts, so gelten die Gleichungen:

$$\tau_1^2 = 4\pi^2 \frac{K_1}{D} \quad \text{und} \quad \tau_2^2 = 4\pi^2 \frac{K_1 + K_2}{D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

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 ermittle daraus

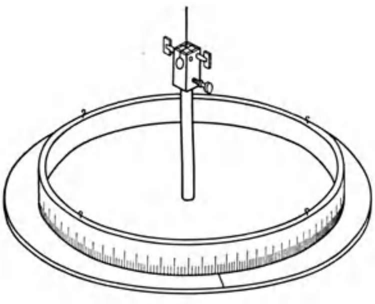

Fig. 97.

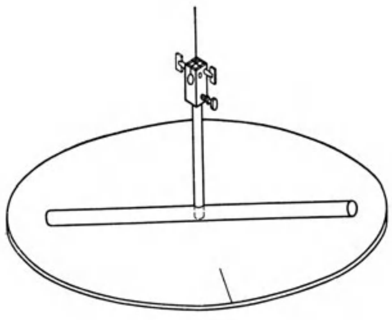

Fig. 98.

seinen äußern Halbmesser r_1 und seinen innern Halbmesser r_2. Berechne die Drehmasse 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 die Drehmasse K_1 der Scheibe und der Klemme und aus der ersten der Gleichungen (1) die Richtkraft des Drahts.

e) Entferne den Ring und schiebe den Messingstab auf den Stift der Scheibe (Fig. 98). Bestimme durch Beobachtung der Schwingungsdauer τ_3 die Drehmasse 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 bezeichnen.

11. Aufgabe. *Wie hängt die Drehmasse (Trägheitsmoment) eines Körpers von den Massen der einzelnen Teile und deren Entfernungen von der Drehachse ab?*

Geräte. Drillstab. 2 Bleireiter von 500 gr. 2 Bleireiter von 1000 gr. Zwinge mit Feilkloben. Nadeln. Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser. Unterlegklötze. Feder oder Pinsel.

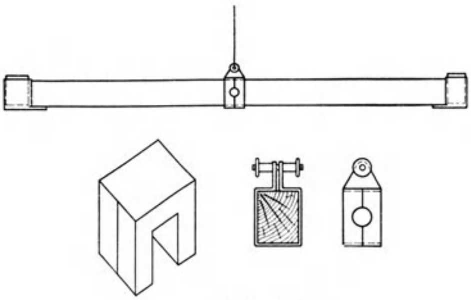

Fig. 99.

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^{0} (Fig. 99). Laß ihn los und hemme etwa auftretende Pendelschwingungen durch Berühren des Drahts 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 weit, daß ihre Abstände vom Draht 22,5 cm werden 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 die Drehmasse 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 die Drehmasse 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 die Drehmasse, wenn man bei gleichem Abstand die Masse verdoppelt? Wie ändert sich die Drehmasse, wenn man die Masse in die doppelte oder dreifache Entfernung schiebt?

12. Aufgabe. *Bestimme mit dem Drillstab die Masse eines Körpers.*

(Handbuch S. 206.)

13. Aufgabe. *Bestimme mit einem schwingenden Stahlstab die Masse eines Körpers.*

(Handbuch S. 207.)

14. Aufgabe. *Besteht bei Seilwellen eine Beziehung zwischen der Schwingungszahl und der Wellenlänge und zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Belastung?*

(Handbuch S. 208.)

15. Aufgabe. *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von der Länge ab, wenn das Verhältnis der Masse zur Belastung ungeändert bleibt?*

(Handbuch S. 209.)

Sechster Teil.

Schall.

I. Stimmgabel.

1. Aufgabe. *Wieviel Schwingungen macht eine Stimmgabel in einer Sekunde?*

Geräte. c_1-Stimmgabel aus Stahl. Schreibvorrichtung. Spiegelglasplatten. Taktgeber oder Stechuhr.Ölläppchen. Streubüchse mit Bärlappsamen. Borsten. Klebwachs. Anschlaghammer. 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. 100). Bestimme

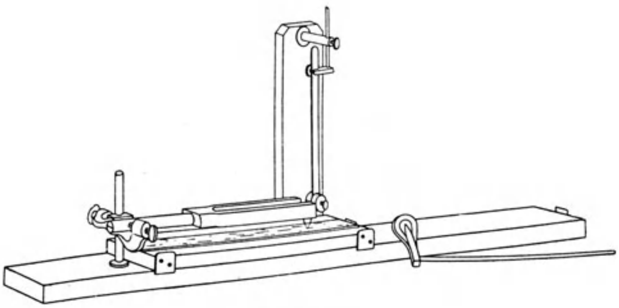

Fig. 100.

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 durch die Zinkenachse gehende Ebene wagerecht steht. Lege die Spiegelglasplatte 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 die Achsen ihrer Wellenlinien bei der Verschiebung des Schlittens genau zusammenfallen.

c) Wische die Glasplatte mit einem Öllappchen ab, bestreue sie mit Bärlappsamen und blase das überflüssige Pulver weg.

d) Lege die Glasplatte, mit der bestäubten Seite nach oben, auf den Schlitten und stelle an ihrem Rande die Schreibspitzen so ein, daß sie eben auf der Staubschicht aufliegen. Laß das Pendel schwingen, schlage die Stimmgabel an, verschiebe die Platte langsam und prüfe, ob die Borsten richtig schreiben.

e) Setze, sobald die Schreibvorrichtungen gut arbeiten, Pendel und Stimmgabel in Schwingungen und zieh dann schnell den Schlitten 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 bestäubte 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. 101.

f) Befestige, sobald eine gute Aufzeichnung gelungen ist, die bestäubte Platte wagerecht so in den Klemmen zweier Gestelle, daß das Tageslicht durch die Scheibe fällt oder halte die Scheibe schräg geneigt über ein wagerechtes schwarzes Papier, und zähle sorgfältig die Anzahl der ganzen Wellen, die zwischen den Zeitmarken des Pendels A und C, B und D liegen (Fig. 101).

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 Pendel-schwingungen N	Schwingungsdauer des Pendels $\tau = t/N$
	Mittel	. . . .

Anzahl der vollen Stimmgabelschwingungen in τ sek $\nu = \ldots$
Anzahl der vollen Stimmgabelschwingungen in einer Sekunde $n = \nu\,\tau = \ldots$

k) Wische die bestäubte Glasplatte mit Watte ab und reinige sie dann mit Seifenwasser.

II. Schwingende Saiten.

2. Aufgabe. *Wie ändert sich die Schwingungszahl einer Saite bei gleichbleibender Spannung mit der Länge?*

Geräte. Monochord nebst Zubehör. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). d_1-Stimmgabel ($n = 288$). Anschlaghammer. Meterstab. Papier. Schere.

Anleitung. a) Schneide einen sehr schmalen Streifen Papier ab, wickle 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. 102).

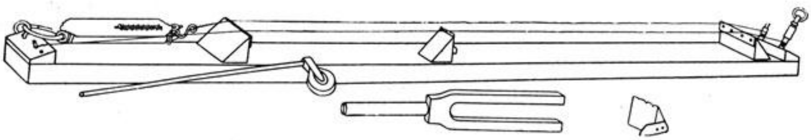

Fig. 102.

c) Setze den Reiter neben die Mitte der Saite. Schlage die Stimmgabel an, setze die Nute des Stiels auf die Saite und fahre mit der Gabel von dem einen festen Steg aus langsam die Saite entlang, bis eine Stelle erreicht wird, wo der Reiter in heftige Bewegung gerät. Das so abgegrenzte Stück der Saite steht dann mit der Stimmgabel im Einklange. Schiebe nun den beweglichen Steg an die Stelle, die der Gabelstiel einnimmt. Setze den Stiel der Stimmgabel auf den beweglichen Steg oder neben dem Reiter auf das Monochordbrett und prüfe, ob der Reiter wieder in heftige Bewegung versetzt wird; wenn nicht, verschiebe den Steg in kleinen Stufen, bis dies eintritt.

d) Miß die Länge des schwingenden Drahtstücks.

e) Wiederhole den Versuch zweimal.

f) Bestimme ebenso die Länge der Saite, die mit der d_1-Gabel im Einklange 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 die Schwingungszahl bei gleichbleibender Spannung mit der Länge der Saite?

3. Aufgabe. *Wie ändert sich die Schwingungszahl einer Saite bei gleichbleibender Länge mit der spannenden Kraft?*

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 Einklange 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 die Schwingungszahl einer Saite bei gleichbleibender Länge mit der spannenden Kraft?

4. Aufgabe. *Wie ändert sich die Länge einer Saite bei gleichbleibender Schwingungszahl mit der spannenden Kraft?*

(Handbuch S. 217.)

5. Aufgabe. *Kann man mit Maßstab und Wage den Ton einer Saite und einer Stimmgabel bestimmen?*

Geräte. Monochord nebst Zubehör. c_1-Stimmgabel. 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 Einklange 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 zuerst bei dem Stege neben der Federwage und dann bei dem andern Stege Marken in die Saite, schütze dabei die Augen durch Vorhalten der gespreizten Finger, nimm den Draht ab und schneide ihn an den gezeichneten Stellen mit der Beißzange durch.

d) Wäge das abgeschnittene Stück und berechne die Masse (k gr/cm) eines Drahtstücks, 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 Drahtstücks 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?

III. Schwingende Luftsäulen.

6. Aufgabe. *Kann man die Wellenlänge eines gegebenen Tons und die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft mit einer mittönenden Röhre bestimmen?*

1. Verfahren.

Geräte. c_1-Stimmgabel ($n = 256$). d_1-Stimmgabel ($n = 288$). Anschlaghammer. Mittönröhre. Kautschukschlauch. Großer Glastrichter. Thermometer. Lot. Meterstab. Bunsengestell mit Ring und Klemme. Emaillierter Blechtopf. Großes Gefäß zum Untersetzen. Papier oder Gummiringe.

Anleitung. **a)** Klemme die Glasröhre in lotrechter Stellung so fest, daß das weite offene Ende nach oben gekehrt ist (Fig. 103). Setze den Trichter in den Ring des Gestells, 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.

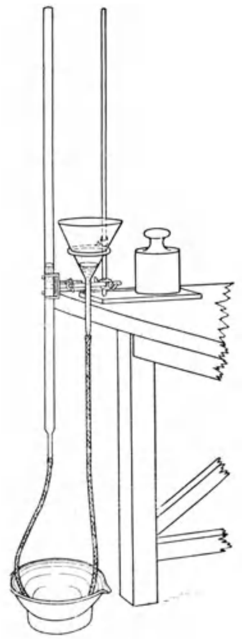

Fig. 103.

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 Schwingungen in der Richtung der Röhrenachse stattfinden. Wie wirkt die Luftbewegung, die durch die Stimmgabel erregt wird, auf die Luftsäule ein, die an dem 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? Bezeichne mit einem Stück nassen Papier oder mit einem Kautschukring die Stellung des Wasserspiegels, wo 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.

e) Suche und bezeichne auf gleiche Weise eine tiefere zweite Stellung des Wasserspiegels, wo 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 Warmheit der Luft in der Röhre.

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

c_1-Stimmgabel Nr. . . . Schwingungszahl $n = \ldots$ Mittönröhre Nr. . . . Warmheit der Luft in der Röhre $= \ldots$ Mittlere Warmheit . . . Schallgeschwindigkeit bei dieser Warmheit $v = \ldots$ [cm/sek].

l_1 cm	l_2 cm
Mittel	. . . . .

Halbe Wellenlänge des Tons in der Luft $^1/_2\,\lambda = l_2 - l_1 = \ldots$ [cm].
Wellenlänge des Tons in der Luft $\lambda = \ldots$ [cm].

i) Die Länge (l_1 cm) der kurzen Luftsäule (vermehrt um $^3/_{10}$ des innern Rohrdurchmessers) ist ein Viertel der Wellenlänge des Tons in der Luft. Der Abstand ($l_2 - l_1$) der beiden Wasserspiegel ist gleich der halben Wellenlänge.

k) Berechne aus dem Längenunterschiede der beiden Luftsäulen die Wellenlänge (λ cm) des Tons 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 Tons 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 Werte, 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.

(Handbuch S. 220.)

7. Aufgabe. *Vergleiche die Geschwindigkeiten des Schalls in der Luft und im Messing miteinander.*

Geräte. Kundtsche Röhre. Messingstab. Rohrstock. 2 Holzböcke. Zwinge mit Feilkloben. Kork oder Bärlappsamen. Rauhes Sandpapier. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Wollener Lappen. Gepulvertes Geigenharz. Maßstab. Schublehre. Thermometer. Wage. Gewichtsatz. Watte. Bindfaden. Talkum.

Anleitung. a) Zieh mehrmals durch die Glasröhre einen Bausch trockener Watte, der in der Mitte eines langen Bindfaden befestigt worden ist. Bewege die Röhre drehend über einer kleinen Bunsenflamme hin und her und trockne sie so sorgfältig unter gelindem Erwärmen. Reibe auf rauhem Sandpapier einen trocknen 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 trocknen 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. 104). Schraube die Zwinge des Feilklobens C am Tischrande fest. Lege den Maßstab mit der geteilten Kante so an die Backen des Klobens, daß die Mitten beider zusammenfallen. Klemme den Messingstab so mit den Backen fest, daß seine Mitte genau zwischen deren Mitten liegt. Richte die Glasröhre so aus, daß das Ende des Messingstabes, das die

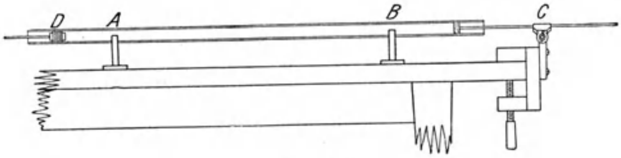

Fig. 104.

mit Talkum eingeriebene Korkscheibe trägt, etwas hineinragt und die Achsen von Röhre und Stab in derselben Geraden liegen. Drehe die Röhre 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 Geigenharz eingerieben ist, den Messingstab und setze ihn so in Längsschwingungen. Beginne mit dem Reiben in der Mitte des Stabes und zieh den Lappen ohne allzustarken Druck langsam und stetig vollständig vom Stab 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 Staubgebilde 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 an dem 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) Lege den Maßstab längs der Röhre und bestimme die Lage k_v

für $2n$ aufeinanderfolgende Knoten. Berechne die Abstände $k_{n+1} - k_1$, $k_{n+2} - k_2, \ldots k_{2n} - k_n$ 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 Warmheit in der KUNDTschen Röhre.

i) Ändere die Stellung der Endscheibe und wiederhole die Messung dreimal.

k) Bezeichnen λ_l die Wellenlänge in der Luft, λ_m die Wellenlänge im Messing und n die Schwingungszahl des Tons von Stab und Luftsäule, so ist die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft $v_l = n\lambda_l$ und die Geschwindigkeit des Schalls im Messing $v_m = n\lambda_m$, mithin $v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l$. Nun ist

$$v_l = 33100 \sqrt{1 + 0{,}004\,t}\ [\text{cm/sek}],$$

also

$$v_m = 33100 \sqrt{1 + 0{,}004\,t} \cdot \frac{\lambda_m}{\lambda_l} \left[\frac{\text{cm}}{\text{sek}}\right].$$

Berechne mit dieser Formel die Schallgeschwindigkeit im Messing.

l) Bezeichnet ϱ gr/cm³ die Dichte und [E] das in absoluten Einheiten gemessene Federmaß des Messings, so ist nach NEWTON

$$v_m = \sqrt{\frac{[\text{E}]}{\varrho}} \left[\frac{\text{cm}}{\text{sek}}\right],$$

also

$$[\text{E}] = v_m^2 \varrho\ [\text{CGS}].$$

Bestimme den Raum, die Masse und die Dichte des Messingstabes und berechne mit dieser Formel das Federmaß 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]. Warmheit $t = \ldots$ °C. Geschwindigkeit des Schalls in der Luft $v_l = \ldots$ [cm/sek].

k_ν	$k_{n+\nu}$	$k_{n+\nu} - k_n$
	Mittel	. . . . .

$$\lambda_l = \ldots\ [\text{cm}].$$
$$v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l = \ldots$$
$$v_m = \ldots\ [\text{cm/sek}].$$
$$[\text{E}] = v_m^2 \varrho = \ldots\ [\text{CGS}].$$

n) Reinige die KUNDTsche Röhre und verschließe ihre Enden mit Wattepfropfen.

Siebenter Teil.

Wärme.

I. Ausbreitung der Wärme.

1. Aufgabe. *Wie wird ein Körper warm?*

Geräte. Streichhölzer. Kupferdraht von 1,6 mm und 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. Entzünde das Streichholz und stecke 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 ~ 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 die Warmheit derselben Drahtstelle mit der Zeit? *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 Kupferdrahts 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 Drahts 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 Drahts 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 Drahtstück und je größer seine erhitzte Oberfläche ist, desto schneller kühlt es sich ab, wie wir später sehen werden. Also gibt nach (f) beim bleibenden Zustande das Kupfer mehr Wärme ab als das Eisen. Trotzdem wird das in der Hand gehaltene Ende des Kupfers wärmer als das des Eisens. Leitet also das Kupfer oder das Eisen die Wärme besser?

2. Aufgabe. *Hängt die Geschwindigkeit des Erkaltens von dem Warmheitsüberschuß des Körpers über seine Umgebung ab?*

Geräte. Holzplatte. Kork. Korkbohrer. Rundfeile. Thermometer. Weißblechbecher. Schrot. Pipette. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Batterieglas oder Becherglas. Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Setze mit einem durchbohrten Kork das Thermometer in den Holzdeckel ein (Fig. 105). Ist die Durchbohrung zu eng, so erweitere sie mit der Rundfeile; ist sie zu weit, so streife über die Thermometerröhre einen Kautschukring (kurzes Schlauchstück). Zieh das Thermometer wieder aus dem Kork heraus. Fülle das große Glas mit Wasser von Zimmerwärme und setze das Blechgefäß hinein. Beschwere den Becher so mit Schrot, daß er das Holzbrett nicht empordrückt, und verhindere durch Korkstücke, daß er an der Wand des Glases anliegt. Der Wasserspiegel im Glas soll ~ 2 cm unterhalb des Randes liegen.

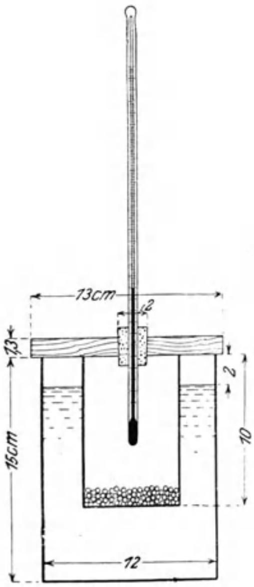

Fig. 105.

b) Rühre ~ 3 Minuten lang das Wasser sorgfältig um und lies dann seine Warmheit 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 schätzt dabei die Zehntel-Grade.

e) Miß so in Zwischenzeiten von einer halben Minute die Warmheiten $t_v{}^0$ C des Thermometers bis zu einer Wärmestufe, die 6 bis 8° über der des Wassers liegt.

f) Bestimme wie bei (b) nochmals die Warmheit $t_0''^0$ des Wassers und berechne dann die mittlere Wärmestufe $t_0{}^0$ C des Wassers während des Versuchs.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Thermometer Nr. . . .
Wärmestufe des Wassers bei Beginn $t_0' = \ldots{}^0$C, am Ende $t_0'' = \ldots{}^0$ C.
Mittlere Wärmestufe des Wassers $t_0 = \ldots{}^0$ C.

Zeit der Ablesung τ min	Abgelesene Wärmestufe t_ν ^{0}C	Warmheitsüberschuß $\vartheta_\nu = t_\nu - t_0$	Mittlerer Überschuß $\Theta = \frac{1}{2}(\vartheta_\nu + \vartheta_{\nu+1})$	Warmheitsabnahme in $^1/_2$ 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 Wärmestufe t_ν des Thermometers und der Wärmestufe t_0 des Wassers an dem Anfang und dem 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 Warmheitsüberschuß.

i) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, nimm dabei einmal die Zeit τ als Abszisse und die Thermometertemperatur t_ν 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 ändern sich die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers und sein Warmheitsüberschuß über die Umgebung in dem gleichen Verhältnis. Für welche Warmheitsüberschüsse trifft das Gesetz angenähert zu?

3. Aufgabe. *Hängt der Wärmeverlust eines Körpers von der Größe seiner Außenfläche ab?*

Geräte. Prüfglas von 3 cm Durchmesser und 13 bis 15 cm Länge. Blattzinn. Schere. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Maßstab.

Anleitung. a) Schneide zwei gleiche Stücke Blattzinn ($\sim$ 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 Prüfglas und erwärme behutsam beide über einer Bunsenflamme, achte dabei sorgfältig darauf, daß das Blattzinn nicht schmilzt.

c) Schütte rasch den Inhalt des Glases auf den Tisch und berühre die Kugel und die Rolle mit dem Handrücken. Welcher Körper behält seine Wärme länger? Wer hat die größere Außenfläche?

4. Aufgabe. *Hängt die Wärmeausstrahlung eines Körpers von der Beschaffenheit der Oberfläche ab?*

Geräte. 2 weithalsige Glasfläschchen. Berußungslampe. Blattzinn. Gummi arabicum. Heißes Wasser. Trichter. Korke. Thermometer. Metallstab. 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 Blattzinn oder bronziere es.

b) Fülle beide Fläschchen bis zum Hals mit heißem Wasser, lies die Warmheit 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 $\sim$ 20 Minuten wiederum die Warmheit jedes Fläschchens.

d) Welches Fläschchen hat sich stärker abgekühlt?

5. Aufgabe. *Hängt die Fähigkeit eines Körpers, Wärmestrahlen zurückzuwerfen, von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab?*

Geräte. 2 gleiche Bechergläser. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Berußungslampe. Durchlochtes Holzbrettchen. Thermometer. Blattzinn. 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. 152 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 $\sim$ 70° auf 40° abkühlt. Die mit Blattzinn beklebte Seite des Brettchens wird nach oben gekehrt.

c) Wiederhole den Versuch mit dem andern Becherglas, das innen mit Blattzinn beklebt oder bronziert ist, und kehre die überzogene Seite des Deckels nach unten.

d) In welchem Gefäß kühlt sich das Thermometer rascher ab? Welches Gefäß wirft mehr Wärmestrahlen zurück?

II. Warmheit.

6. Aufgabe. *Prüfe den Eispunkt des Thermometers.*

Geräte. Großer Trichter. Reiner Schnee oder zerkleinertes Eis. Stabthermometer. Bunsengestell mit Ring und Haken. Batterieglas. Kurzer Kautschukschlauch. Quetschhahn. Sack aus Segeltuch. Holzhammer. Destilliertes Wasser. Garn. Spiegelstreifen.

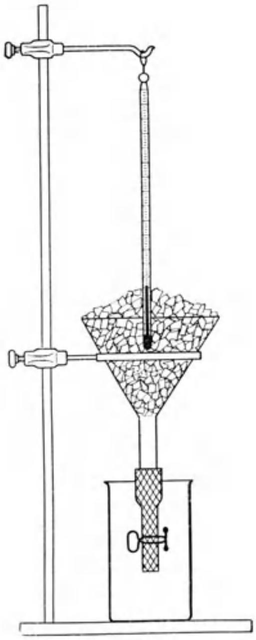

Fig. 106.

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 die Fadenstücke wieder vereinigt haben.

b) Befestige an dem Hals eines Trichters einen kurzen Kautschukschlauch und verschließe ihn mit einem Quetschhahn (Fig. 106).

c) Setze in den Ring des Gestells 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 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 Gestells geknüpft wird. Laß das Thermometer in dem Eis stehen, bis sich seine Einstellung 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 sorgefältig ab und schätze dabei die Zehntelgrade. Beachte, ob die Quecksilberkuppe höher oder tiefer als der Nullpunkt steht. Die Wärmestufe Null entspricht dem Punkt, worauf sich die Quecksilbersäule einstellt.

7. Aufgabe. *Wie wirkt zugefügtes Kochsalz auf den Gefrierpunkt des Wassers ein?*

Geräte. Thermometer. Enges Prüfglas. Schnee oder zerkleinertes Eis. Kochsalz. Große Porzellanschale. Holzlöffel. Kunstkorkring. Bunsenbrenner. Gasschlauch.

Anleitung. **a)** Mische in einer großen Porzellanschale tüchtig Kochsalz mit ~ 4 Teilen zerkleinertem Eis oder besser Schnee. Stecke die Thermometerkugel in das Gemisch und lies die tiefste erreichte Wärmestufe ab.

b) Gieß in ein enges Prüfglas etwas Wasser, tauche es in die Kältemischung und bewege es andauernd ~ 3 cm weit auf und ab. Schiebe das Thermometer ins Wasser, beobachte das allmähliche Fallen des Quecksilbers, lies, sobald sich etwas Eis gebildet hat, die Warmheit ab und nimm das Thermometer heraus.

c) Schmelze das Eis im Prüfglas, füge 3 bis 4 Fingerspitzen Kochsalz zum Wasser und setze das Glas wieder in die Kältemischung. Miß die Warmheit, bei der sich jetzt Eis bildet.

d) Wiederhole den Versuch mehrmals und vergrößere dabei nach und nach die Menge des hinzugefügten Kochsalzes.

8. Aufgabe. *Prüfe den Siedepunkt des Thermometers.*

Geräte. Kochflasche. Kork. Korkbohrer. Rundfeile. Glasrohr. Dreikantfeile. Schnittbrenner. Barometer. Heißes Wasser. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Dreifuß. 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 andere 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. 107).

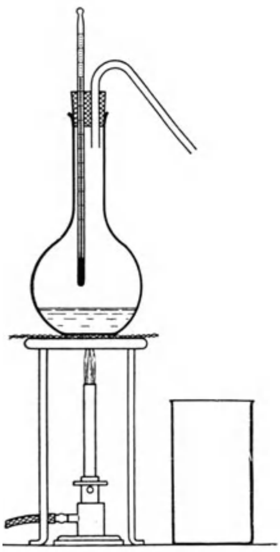

Fig. 107.

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 aufzufangen, das sich darin verdichtet. 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 den Siedepunkt t^0 C nach der Formel

$$t = 100 + 0{,}0375\,(b - 760)$$

und den Siedepunktsfehler des Thermometers $\Delta = t' - t$.

f) Zieh 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 Wasserdampf herausragen?

g) Schiebe nun vorsichtig die Thermometerkugel in das siedende Wasser und lies nach $\sim$ 10 Minuten den höchsten Stand des Thermometers ab. Steht jetzt die Quecksilberkuppe 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 $\sim$ 10 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. Setze 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 Warmheit des Dampfs ein? Darf man also bei der Bestimmung des Siedepunkts die Thermometerkugel ins Wasser tauchen?

9. Aufgabe. *Einige Übungen im Ablesen des Thermometers.*

Geräte. Heißes Wasser. 2 Bechergläser. 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 an einem Glasstab entlang, 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) Weshalb rührt man bei Wärmeversuchen die Flüssigkeiten tüchtig um? Nenne die Nachteile.

f) Stelle Wasser von 20° bis höchstens 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 laß dann die Warmheit ablesen.

III. Ausdehnung der Körper.

10. Aufgabe. *Wie ändert sich der Raum einer gegebenen Flüssigkeitsmasse mit ihrer Warmheit? Wie groß ist das Ausdehnungsmaß des Glyzerins?*

Geräte. Wage. Gewichtsatz. Dichtefläschchen. 2 Bechergläser. Thermometer. Glyzerin. Pinsel oder reiner Eisendraht. Quecksilber. Quecksilberbrett. 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 Zimmerwärme.

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 Wagschalen mit Fließpapier, setze auf die linke Schale das Dichtefläschchen und gleiche es sorgfältig ab. 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 trocknen 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. 108). 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 Warmheit $t_1{}^0$ C sorgfältig ab.

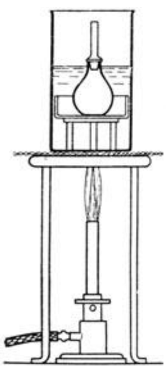

Fig. 108.

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? Welches dehnt sich stärker aus? Findet das Quecksilber noch hinreichenden Raum im Fläschchen? Wo bleibt das überschüssige Quecksilber? Laß das Wasser $\sim$ 10 Minuten lang sieden und lies dann die Warmheit t_2^0 C sorgfältig ab. Bringe das Quecksilber durch Austupfen mit Fließpapier wieder bis zur Marke.

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 Stoffs ausgefüllt werden, d. h. den umgekehrten Wert der Dichte eines Stoffs, seine *Dünne (Dünnheit, Räumlichkeit, 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 Dünnen des Quecksilbers bei den Wärmestufen 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 das Raumausdehnungsmaß 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

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2} + 3\beta(t_2 - t_1)\frac{m_1}{m_2}.$$

Das Ausdehnungsmaß α des Quecksilbers ist die Raumzunahme eines Kubikzentimeters Quecksilber bei der Wärmeerhöhung 1^0 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 das Ausdehnungsmaß 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 das Längenausdehnungsmaß des Glases, woraus 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 Ausdehnungsmaßes α des Quecksilbers nach und berechne daraus das Längenausdehnungsmaß des Glases, woraus das Dichtefläschchen hergestellt ist.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . . Dichtefläschchen Nr. . . .
Ausdehnungsmaß des Quecksilbers $\alpha = 0{,}000181$.
Masse des Quecksilbers:
1. Messung $m_1 = \ldots$ [gr].
2. Messung $m_2 = \ldots$ [gr].

Wärmestufe des Quecksilbers:
1. Messung $t_1 = \ldots\ ^0$C.
2. Messung $t_2 = \ldots\ ^0$C.

Längenausdehnungsmaß 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 (b) und (d) bis (g).

p) Bei den Wärmestufen $t_3{}^0$ 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 das Ausdehnungsmaß 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 das Ausdehnungsmaß 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.

11. Aufgabe. *Wie ändert sich bei gleichbleibendem Druck der Raum einer gegebenen Luftmasse mit der Wärmestufe? Wie groß ist das Ausdehnungsmaß der Luft?*

Geräte. Trichter. Eis. Hohes Becherglas. Gestell mit Ring. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Haarröhrchen.

Anleitung. **a)** Miß sorgfältig die Länge der ganzen Röhre; berücksichtige dabei, daß das geschlossene Ende nicht die Gestalt einer Walze 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 Gestell, daß es mit dem geschlossenen Ende ins 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 das Wasser unter fleißigem Umrühren langsam auf 25°; nimm die Flamme weg und miß wieder die Wärmestufe des Wassers und die Abstände des offnen Rohrendes von den Fadenenden.

e) Erwärme das Wasser weiter und wiederhole die Messungen bei den Wärmestufen 50°, 75° C und dem Siedepunkt.

f) Wiederhole, wenn es die Zeit gestattet, die Messungen während des Abkühlens bei denselben Wärmestufen wie beim Erwärmen.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Haarröhrchen Nr. . . . Länge des ganzen Röhrchens $l = \ldots$ [cm].

Wärmestufe 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]	Ausdehnungsmaß 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 cm^3, 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 Wärmesteigerung um 1^0 C, nämlich

$$\frac{V_{n+\nu} - V_\nu}{t_{n+\nu} - t_\nu}$$

und daraus das Ausdehnungsmaß, d. h. die Verlängerung von 1 cm Länge bei einer Wärmesteigerung um 1^0 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 bildlich dar, setze dabei $x = V$ und $y = t$. Welche Kurve geht durch alle gezeichneten Punkte? Bei welcher Wärmestufe würde die eingeschlossene Luftmasse keinen Raum einnehmen? *Absoluter Nullpunkt. Absolute Wärmestufe.*

IV. Wärmemenge.

12. Aufgabe. *Welche Mischungswarmheit entsteht, wenn man gleiche Wassermassen von verschiedenen Wärmestufen miteinander mischt?*

Geräte. 2 gleiche dünnwandige Bechergläser. Becherglas. Wage. Kaltes Wasser (Eis). Heißes Wasser. Pipette. Thermometer. 2 Suberitscheiben. Abgleichbecher. Schrot. Wischtücher.

Anleitung. a) Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und gleiche sie ab.

b) Fülle das linke Becherglas nicht ganz bis zur Hälfte mit Wasser, dessen Wärmestufe $\sim 6^0$ unter der Zimmerwärme liegt.

c) Gieße in das andere Glas ebensoviel Wasser, dessen Wärmestufe ~ 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 Wärmestufe t_1° C des kältern Wassers und dann die Wärmestufe t_2° 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 Mischungswarmheit τ_m° C unter Schätzung der Zehntelgrade ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Becherglas Nr. . . . und Nr. . . .
Zimmerwärme . . . ° C.

Wärmestufe des kalten Wassers t_1° C	Wärmestufe des warmen Wassers t_2° C	Mischungswarmheit τ_m° C	Wärmezunahme $\tau_m - t_1$	Wärmeabnahme $t_2 - \tau_m$	Mittlere Wärmestufe $\tau = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	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.

13. Aufgabe. *Welche Mischungswarmheit entsteht, wenn man ungleiche Wassermassen von verschiedenen Wärmestufen miteinander mischt?*

Geräte. Wie bei Aufg. 12, dazu Gewichtsatz.

Anleitung. a) Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und gleiche sie ab.

b) Fülle in das linke Becherglas $m_1 = 300$ [gr] Wasser, dessen Wärmestufe 8° unter der Zimmerwärme liegt.

c) Fülle in das andere Becherglas $m_2 = 200$ [gr] Wasser, dessen Wärmestufe 12° über der Zimmerwärme liegt.

d) Nimm beide Gläser von der Wage und setze sie auf Suberitscheiben. Bestimme sorgfältig nach behutsamem Umrühren unter Schätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe t_1° C des kältern und die Wärmestufe t_2° 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, sobald das Quecksilber nicht mehr sinkt, unter Schätzung der Zehntelgrade die Mischungswarmheit $\tau_m{}^0$ C sorgfältig 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	Wärmestufe des kalten Wassers $t_1{}^0$ C	Masse des warmen Wassers m_2 gr	Wärmestufe des warmen Wassers $t_2{}^0$ C	Gesamte Wassermasse $m_1 + m_2$

Mischungswarmheit ber. τ^0 C	Mischungswarmheit 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

$$\tau = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Richmannsche Regel. Berechne danach die Mischungswarmheit. Um wieviel Grad weicht die beobachtete Mischungswarmheit τ_m von der berechneten τ ab? Wie ist diese Abweichung zu erklären?

h) Aus der *Richmannschen Regel* folgt

$$m_1(\tau - t_1) = m_2(t_2 - \tau).$$

Geschichtliche Entwicklung der Begriffe. Annahme des Wärmestoffs. 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.

14. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien muß man einem Gramm Kupfer entziehen, um seine Wärmestufe um einen Zentigrad zu erniedrigen?*

Geräte. Becher aus Messingblech. Suberitscheibe oder großer Kork. Wage. Gewichtsatz. Kupferdraht oder Kupferdrahtnetz oder Schrot. Thermometer. Prüfgläschen. Becherglas. Kleines Becherglas. Durchbohrter Kork. Durchbohrte Asbestplatte. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Kaltes Wasser. Heißes Wasser. Beißzange. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Pipette. Bürette. Watte. Wischtuch. Tapeziererblei. Barometer.

Anleitung. **a)** Gleiche ein weites trocknes Prüfgläschen auf der Wage ab. Schneide ∼ 30 gr Kupferdraht (Drahtnetz) in kleine, höchstens 1 cm lange Stücke, fülle sie in das Gläschen und bestimme sorgfältig mit der Wage ihre Masse [m_c gr].

b) Stecke das Thermometer in die Kupferstückchen und schüttle das Gläschen, damit sich die Teilchen um die Thermometerkugel lagern. Verschließe die Mündung des Gläschens mit einem Wattebausch. Schiebe einen durchbohrten Kork über das Gläschen und stecke es dann durch die Öffnung einer Asbestplatte. Lege diese so über den Rand eines tiefen Becherglases, daß das Gläschen in das siedende Wasser darin eintaucht. (In Fig. 109 ist das Gläschen einfach in das Becherglas gestellt; diese Anordnung ist nicht so gut, wie die angegebene.) Warte, bis die Wärmestufe des Kupfers 100^0 oder dauernd ein wenig unter 100^0 ist, schüttle dabei von Zeit zu Zeit die Kupferstückchen etwas durcheinander.

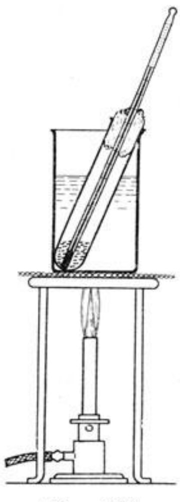
Fig. 109.

c) Laß den Mitarbeiter das Kalorimeter auf der Wage abgleichen. 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 Wärmestufe ∼ 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 Wärmestufe (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 Warmheit t'^0 C ab.

f) Kühle nun das Thermometer mit Leitungswasser ab und wische es tüchtig trocken. Stelle das Thermometer in das Kalorimeter, laß es so lange darin stehen, bis es sicher die Warmheit des Wassers angenommen hat, wische den Beschlag auf der äußern Seite des Kalorimeters ab und lies dann unter Schätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe ($t_w{}^0$ 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, sobald (nach $\sim {}^1/_2$ Minute) das Quecksilber nicht mehr steigt, die Mischungswarmheit τ^0 C unter Schätzung der Zehntelgrade **sehr sorgfältig** 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].
Wärmestufe des Kupfers	$t = \ldots {}^0$ C.
Masse des Wassers	$m_w = \ldots$ [gr].
Wärmestufe des Wassers	$t_w = \ldots {}^0$ C.
Mischungswarmheit	$\tau = \ldots {}^0$ C.

i) Die Ablesung des Thermometers, das in den Drahtstückchen steht, liefert nicht immer die wirkliche Wärmestufe ($t_c{}^0$ C) des Kupfers. Lies den Barometerstand b mm ab und berechne daraus nach Aufgabe 8, S. 157 den wirklichen Siedepunkt ($t_b{}^0$ C) des Wassers. Die wahre Wärmestufe 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 1^0 C erkaltete? Welche Wärmemenge gibt also 1 gr Kupfer ab, wenn es sich um 1^0 C abkühlt? *Spezifische Wärme.*

Wie groß ist die spezifische Wärme des Kupfers?

l) Schreibe die Berechnung in folgender Form auf:

Warmheitssteigerung des Wassers	$\tau - t_w = \ldots {}^0$ C.
Aufgenommene Wärmemenge des Wassers	$Q_w = m_w\,(\tau - t_w) = \ldots$ [grkal].
Barometerstand	$b = \ldots$ [mm].
Wahrer Siedepunkt des Wassers	$t_b = \ldots {}^0$ C.
Abgelesener Siedepunkt des Wassers	$t' = \ldots {}^0$ C.
Abgelesene Wärmestufe des Kupfers	$t = \ldots {}^0$ C.
Wahre Wärmestufe des Kupfers	$t_c = t_b - (t' - t) = \ldots {}^0$ C.
Warmheitserniedrigung des Kupfers	$t_c - \tau = \ldots {}^0$ C.
Die vom Kupfer bei einer Warmheitserniedrigung von 1^0 abgegebene Wärmemenge	$Q_w/(t_c - \tau) = \ldots$ [grkal].
Die von 1 gr Kupfer bei 1^0 Warmheitserniedrigung abgegebene Wärmemenge	$c = Q_w/m_c\,(t_c - \tau) = \ldots$ [grkal].

m) Hat das Wasser die ganze Wärmemenge aufgenommen, die das Kupfer abgegeben hat? 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 Warmheitserhöhung 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 grkal. 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 grkal. Jedes Kubikzentimeter eines Thermometers hat also den Wasserwert 0,46. Tauchen bei der Bestimmung der Wasserwarmheit 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. Gleiche auf der Wage ein Becherglas mit Wasser ab, senke mit einem Gestell das Thermometer bis zu dem soeben festgestellten Teilstrich ein und bestimme die Gewichtzunahme, die das Becherglas infolge des Abtriebes erleidet (vgl. Aufg. 3, S. 119).

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 mit dieser Verbesserung aus den Messungsergebnissen, die in (h) zusammengestellt sind, von neuem die spezifische Wärme des Kupfers.

r) Trockne sorgfältig mit Fließpapier die Kupferstückchen und lege sie an den Ort, den der Lehrer dafür angewiesen hat. Gieße das Wasser aus den Gefäßen aus und stelle sie aufs Ablaufbrett.

V. Zustandsänderungen.

15. Aufgabe. *Bei welcher Wärmestufe schmilzt Naphthalin?*

1. Verfahren.

Geräte. Glasröhre mit Naphthalin. Thermometer. Durchbohrter Kautschukstopfen. Becherglas. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Dreifuß. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Bunsengestell mit Klemme. Kautschukring oder Garn. Glasstab.

Anleitung. a) Stecke das Thermometer durch den Stopfen und befestige mit einem Kautschukring die Naphthalinröhre so am Thermometer, daß das Ende des ausgezogenen Teils neben der Kugel liegt (Fig. 110). Setze das mit Wasser gefüllte Becherglas 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.

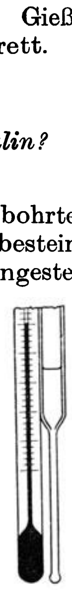

Fig. 110.

b) Erwärme langsam mit kleiner Flamme das Wasser, rühre es fortwährend mit dem Glasstab um und lies die Wärmestufe ab, wenn das Naphthalin an der tiefsten Stelle der Röhre eben beginnt, durchsichtig zu werden. Entferne sofort den Brenner und lies, sobald sich am untern Ende der Röhre das Naphthalin wieder trübt, nochmals die Wärmestufe 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 Warmheit das Naphthalin oder das Wasser wärmer? Was von beiden ist bei sinkender Warmheit 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.

Geräte. Naphthalin. Prüfgläschen. Thermometer. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Becherglas. Rührer aus Nickeldraht. Doppeltdurchbohrter Stopfen. Fließpapier. Alkohol. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Millimeterpapier. Abdampfschale.

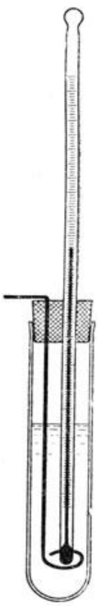

Fig. 111.

Anleitung. f) Fülle das Prüfgläschen 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. 111). Laß das Prüfgläschen an der Luft erkalten, beobachte das Aussehen des Naphtalins, bewege die Flüssigkeit fleißig mit dem Rührer und lies alle halbe Minute die Wärmestufe ab, bis sie auf $\sim 78^0$ gesunken ist. Schreibe jedesmal die Zeit und die Wärmestufe auf.

h) Kühlt sich das Thermometer gleichmäßig rasch ab? Welche Teile des Naphthalins erstarren zuerst? In welchem Zustand befindet sich das Naphthalin, wenn sich die Warmheit längere Zeit hindurch nicht ändert? Liegt diese feste Wärmestufe über der Zimmerwärme? Wie ist es zu erklären, daß trotzdem die Wärmestufe des Naphthalins während beträchtlicher Zeit annähernd fest bleibt? Gibt das Naphthalin Wärme an die Luft ab? Woher erhält das Naphthalin die Wärme während der Zeit, wo sich seine Warmheit nicht ändert? Wie nennt man diese feste Wärmestufe?

i) Mache eine bildliche Darstellung des Vorgangs, wähle dabei die Zeit als Abszisse (1 min $\sim$ 1 cm) und die Wärmestufe als Ordinate

($1^0 \sim 1$ cm). Welcher Teil der Kurve liefert den Schmelzpunkt des Naphthalins?

k) Wische das Thermometer mit Fließpapier ab, das mit Alkohol befeuchtet worden ist. Reinige das Becherglas und stelle es auf das Ablaufbrett.

16. Aufgabe. *Ändert sich die Wärmestufe von Eis, das 0° C warm ist, wenn man ihm Wärme zuführt?*

Geräte. Reines Eis. Prüfgläschen. Thermometer. Heißes Wasser. Becherglas. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Fülle in das Prüfgläschen kleine, $\sim 1\,cm^3$ große Eisstücke, stelle das Thermometer hinein und lies die Wärmestufe ab.

b) Setze in ein Becherglas, das Wasser von $\sim 30^0$ C enthält, das Prüfgläschen 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 Wärmestufen auf.

c) Nimm das Prüfgläschen aus dem Becherglas, rühre $\sim$ 1 Minute lang kräftig um und lies die Wärmestufe des Gemisches von Eis und Wasser ab.

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei die Zeit als Abszisse und die Wärmestufe als Ordinate.

e) Wurde dem Inhalte des Prüfgläschens Wärme zugeführt? Woher? Ist die Warmheit im Prüfgläschen gestiegen? Was ist aus der Wärmemenge geworden, die das Eis empfangen hat?

17. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien sind erforderlich, um 1 gr Eis von 0° C in Wasser von 0° C zu verwandeln?*

Geräte. Dünnwandiges Becherglas. Wage. Gewichtsatz. 0,5 kg-Stück. Heißes Wasser. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Thermometer. 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 Wärmestufe $\sim 25^0$ 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 Wärmestufe $t_1{}^0$ C ab. (Erwärme, falls die Wärmestufe weniger als 15^0 über der Zimmerwärme liegt, das Wasser so weit, daß seine Warmheit die des Zimmers um 15 bis 25^0 C übersteigt.)

d) Lege in das Wasser sofort nach der endgültigen genauen Bestimmung seiner Warmheit Eis, wovon man jedes Stück rasch mit kaltem Fließpapier **gut** abgetrocknet hat. 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, das Wasser mit dem Thermometer um. Fällt die Wärmestufe tiefer als 10^0 unter die Zimmerwärme, so entferne vorsichtig das noch vorhandene Eis, doch nimm dabei möglichst wenig Wasser mit heraus. Liegt die Wärmestufe, 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 Wärmestufe $t_2{}^0$ 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].
Anfangswarmheit	$t_1 = \ldots{}^0$ C.
Endwarmheit	$t_2 = \ldots{}^0$ C.

g) Um wieviel Grad ist die Wärmestufe des Wassers und des Glasgefäßes gefallen? Welche Wärmemenge haben 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.*

18. Aufgabe. *Wieviel Grammkalorien gibt ein Gramm Wasserdampf von 100° C ab, der sich zu Wasser von 100° C verdichtet?*

Geräte. Dünnwandiges Becherglas. Deckel aus Pappe mit zwei Löchern. Wage. Gewichtsatz. Pipette. Suberitscheibe. Thermometer. Kochflasche. Weites Knierohr. 50 cm Kautschukschlauch. Wassersack. Kaltes Wasser (Eis). Heißes Wasser. Bunsengestell mit Ring und Klemme. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Teclu-Brenner. Gasschlauch. 2 Bechergläser. Schutzschirm.

Anleitung. a) Fülle eine Kochflasche A (Fig. 112) halb voll Wasser und verschließe sie mit einem Kork B, wodurch eine weite knieförmig gebogene Glasröhre C geht. Verbinde diese Röhre durch einen Kautschukschlauch D, der $\sim$ 50 cm lang ist, mit dem Wassersack E.

b) Stelle auf den Ring des Gestells, worauf 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 $\sim$ 400 gr Wasser hinein, dessen Wärmestufe $\sim 10^0$ 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 dieses mit der Pappscheibe J und stecke durch das eine ihrer beiden Löcher das Thermometer.

d) Bestimme, sobald der Dampf kräftig aus der Röhre G des Wassersacks strömt, sorgfältig unter Abschätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe ($t_1{}^0$ C) des fleißig umgerührten Wassers; sie soll $\sim 5^0$ 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 $G \sim$ 2 cm unter dem Wasserspiegel liegt. Rühre andauernd und langsam mit dem Thermometer das Wasser im Becherglas um und nimm, sobald die Wärmestufe 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 Wärmestufe $t_2{}^0$ C, die das Wasser während der nächsten Minuten erreicht.

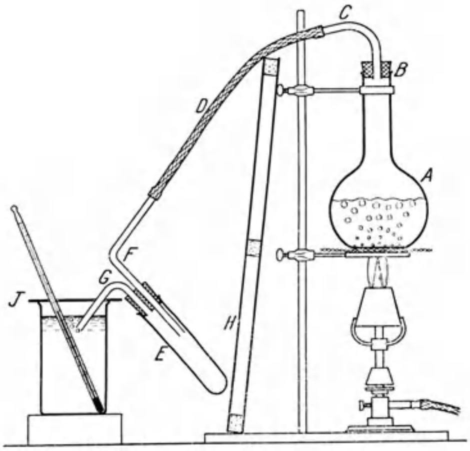

Fig. 112.

e) Bestimme die Gesamtmasse von Becherglas, Wasser und verdichtetem Dampf und berechne daraus die Masse (m_d gr) des verdichteten Dampfs.

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].
Anfangswarmheit des Wassers	$t_1 = \ldots\ ^0$C.
Endwarmheit 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 Dampfs	$m_d = \ldots$ [gr].
Wasserwert des Becherglases	$\mu_k = 0{,}19 \cdot m_k = \ldots$ [gr]

g) Um wieviel Grad ist die Wärmestufe 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.*

VI. Wärme und Arbeit.

19. Aufgabe. *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

Geräte. Whitingsche Röhre. 2 kg feines Bleischrot. Blechgefäß. Eiswasser. Thermometer. Tafelwage.

Anleitung. a) Schütte ~ 2 kg trocknes Schrot in ein Blechgefäß und kühle es in Eis oder Eiswasser so weit ab, daß seine Wärmestufe 5 bis 6° C unter der Zimmerwärme liegt.

b) Schütte das Schrot in die Preßspanröhre (Fig. 113) 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.

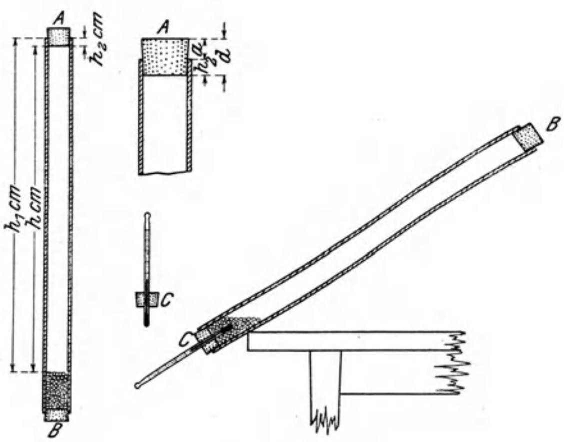

Fig. 113.

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.

d) Lege die Röhre in dieser schrägen Stellung auf die Tischkante, drehe sie ~ 2 Minuten lang und lies dann die Wärmestufe ab. Liegt diese mehr als 3° unter der Zimmerwärme, so fahre mit dem Schütteln und Hin- und Herrollen des Schrots fort, bis die Warmheit 2 bis 3° C unter der Zimmerwärme liegt. Lies diese Wärmestufe (t_1° C) unter Abschätzung der Zehntelgrade sorgfältig 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 um die wagerechte Achse um 180^0, setze sie ohne allzu plötzliches Anhalten, ohne Senken und ohne Stoß auf den Tisch und halte sie in dieser lotrechten Stellung, bis alles Schrot auf den Kork A frei gefallen ist. Kehre so die Röhre hundertmal rasch hintereinander um.

f) Ersetze nach der hundertsten Umdrehung den Kork A durch den Kork C. Neige allmählich die Röhre, bis alles Schrot hinabgerollt ist und die Thermometerkugel vollständig umgibt. Lege die Röhre in dieser schrägen Stellung auf die Tischkante, drehe sie langsam und lies wiederum unter Abschätzung der Zehntelgrade den höchsten Stand (t_2^0 C) ab, den das Thermometer während der nächsten Minuten erreicht.

g) Nimm den Kork C ab, miß den Abstand (h_1 cm) der obern Schrotfläche von dem obern Rande der Röhre und den Abstand (h_2 cm) der untern Fläche des Korks A von jenem Rand 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 . . .^{0} C.

Anfangswarmheit des Schrots	$t_1 = \ldots{}^0$ C.
Endwarmheit des Schrots	$t_2 = \ldots{}^0$ C.
Abstand der Schrotoberfläche von dem obern Rande der Röhre	$h_1 = \ldots$ [cm].
Dicke des Korks A	$d = \ldots$ [cm].
Abstand der obern Fläche des Korks A von dem Rande der Röhre	$a = \ldots$ [cm].
Abstand der untern Fläche des Korks A von dem Rande der Röhre	$h_2 = d - a = \ldots$ [cm].
Fallhöhe des Schrots	$h = h_1 - h_2 = \ldots$ [cm].
Anzahl der Umkehrungen	$z = \ldots$

i) Warum gleiten die Schrotkörner während der Drehung nicht an der Wand der Röhre abwärts? Warum kommen sie zur Ruhe, sobald sie den untern Kork erreichen? 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? In was verwandelt sich die Wucht des Schrots?

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? Der Preßspan 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 15^0-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.

Achter Teil.

Licht.

I. Spiegelung an einer Ebene.

1. Aufgabe. *Vergleiche den Einfallswinkel mit dem Ausfallswinkel.*

Geräte. Ebener Spiegel. Stecknadeln. Vollständige Zeichenausrüstung.

Anleitung. a) Hefte mit Reißnägeln den Bogen auf das Zeichenbrett. Ziehe die Gerade g (Fig. 114). 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 Nadelstiche und entferne dann Spiegel und Nadeln. Zieh AB und CD. Wo schneiden sich die Verlängerungen beider Strecken? *Einfallsstrahl AE, Einfallspunkt E, Ausfallsstrahl ED.*

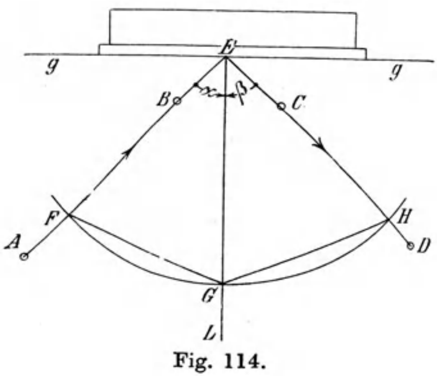

Fig. 114.

b) Errichte mit den Dreiecken in E das Lot EL auf g. *Einfallslot (Spiegellot). 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 dreimal 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 10 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?

2. Aufgabe. *Wie weit stehen Gegenstand und Bild vom Spiegel ab? Wie groß ist der Winkel, den die Verbindungsgeraden von entsprechenden Punkten des Gegenstandes und des Bildes mit dem Spiegel bilden?*

1. Verfahren.

Geräte. Wie bei Aufgabe 1, dazu große Stecknadeln.

Anleitung. a) *Erläuterung des „Abweichungsverfahrens“ mit einem Bunsengestell, dem Fenster und einem Gegenstand davor oder mit zwei Lichtern und Herleitung des Satzes: Faßt ein Beobachter von zwei hintereinander stehenden Gegenständen den vordern ins Auge, so wandert der entferntere Gegenstand scheinbar in gleicher Richtung wie das bewegte Auge.*

b) Befestige auf dem Reißbrett einen Bogen, zieh darauf die Gerade g und setze den Spiegel so auf, daß die untere Kante der spiegelnden Vorderfläche genau mit g zusammenfällt (Fig. 115). Stecke die Nadel A vor dem Spiegel in 5 bis 10 cm Abstand in das Papier.

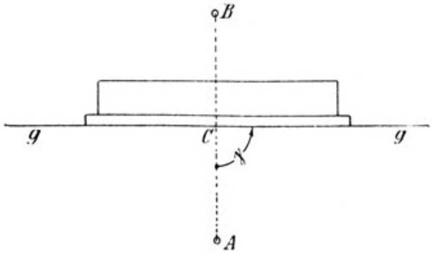

Fig. 115.

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 die Nadel B mit dem Bilde von A genau zusammen. Bewegt sich aber die Nadel B mit dem Auge, so liegt sie zu weit vom Spiegel ab, und man muß sie ein wenig näher stecken; bewegt sie sich jedoch entgegengesetzt wie das Auge, so muß man sie etwas weiter vom Spiegel entfernen. Nach wenigen Versuchen findet man den Ort 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?

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 dreimal und ändere jedesmal den Ort 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.

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. 116) und $\sim$ 12 cm weit davon entfernt die Nadel E_1 so in das Reißbrett, daß für das offene Auge, das $\sim$ 20 cm hinter E_1 steht, die Spitzen von D_1. E_1 und von dem Bilde der Nadel A_1 zusammenfallen. Umringle die Nadelstiche und schreibe die Buchstaben daran.

i) Gib dem Auge zwei andere Stellungen und wiederhole jedesmal den Versuch.

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) Zieh durch A_1 (Fig. 117) einen Pfeil A_1A_2 von $\sim$ 5 cm Länge, der mit g einen Winkel von $\sim 60^0$ bildet, und wiederhole

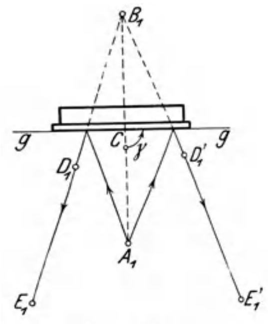

Fig. 116.

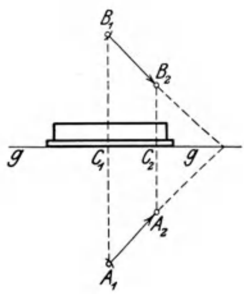

Fig. 117.

mit der 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 die Werte in die Zeichnung ein. Wie verhält sich die Größe des Gegenstandes A_1A_2 zur Größe des Scheinbildes B_1B_2? Wo schneiden sich die 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.

II. Brechung in einer Ebene.

3. Aufgabe. *Wie ändert ein Lichtstrahl seine Richtung beim Übergang aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes?*

1. Verfahren.

Geräte. Planparallele Glasplatte. Vollständige Zeichenausrüstung. Sehr dünne Insektennadeln. Stecknadeln. Millimeterpapier. Putzleder.

Anleitung. a) Hefte den Bogen auf das Reißbrett, zeichne auf dem Papier die Gerade g und setze die Glasplatte so auf, daß die untere Kante der dem Auge zugewandten polierten Fläche genau mit g zusammenfällt (Fig. 118). *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 andere dünne Insektennadel E so, daß sie die brechende Ebene berührt, und die Strecke BE schief zu g steht. Sieh aus $\sim$ 30 cm Entfernung mit einem Auge in solcher Richtung **durch das Glas**, 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 Ebene liegen. *Gesetz der Umkehrbarkeit.* Umringle die Stiche, entferne Glas und Nadeln und zieh mit einem spitzen Blei AE und BE. Errichte in E das

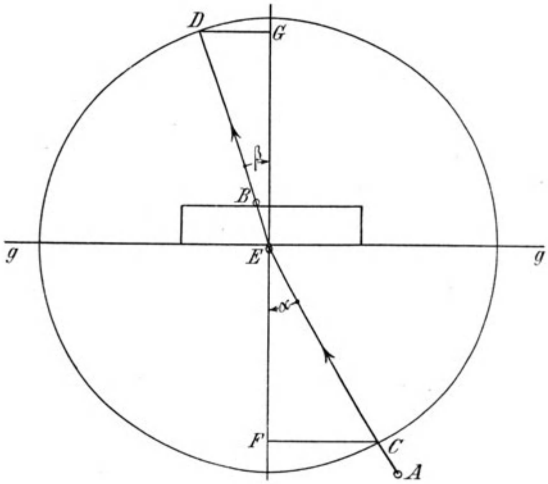

Fig. 118.

Lot GF auf g. *Einfallsstrahl* AE, *Einfallspunkt* E, *gebrochener Strahl* EB, *Einfallslot* GF, *Einfallswinkel* $AEF = \alpha$, *Brechungswinkel* $BEG = \beta$.

b) Schlage um E mit dem Halbmesser von 10 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 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° wird.

d) Stelle die Ergebnisse bildlich 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 bildlichen 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. *Brechungsverhältnis* (ν) *des benutzten Glases.*

f) Leite aus der Zeichnung eine Beziehung zwischen $\nu = CF/DG$, α und β ab.

2. Verfahren.

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 den Zeichenbogen auf das Reißbrett und zeichne auf das Papier das Achsenkreuz g, h (Fig. 119), lege die Glasplatte so auf die breite Seite, daß die untern Kanten AB und AC genau mit den Achsen g und h zusammenfallen. Bezeichne sorgfältig mit einem Nadelstich 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 C, 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 ihr oberer Teil scheinbar die Verlängerung der Kante C bildet.

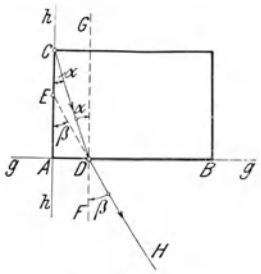

Fig. 119.

h) Umringle die Stiche C, D und E, nimm Glasplatte und Nadeln weg, zieh 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 die 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 $\sin\beta = 1$ wird, ferner zu untersuchen, ob sich die Werte des Verhältnisses ED/CD nicht ändern und wie dieses mit α und β verbunden ist. Welche Beziehung besteht zwischen dem hier und dem in (e) bestimmten Brechungsverhältnis?

3. Verfahren.

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch statt der Glasplatte ein P r i s m a.

Anleitung. m) Hefte den Zeichenbogen auf das Reißbrett und ziehe die Gerade g. Stelle das Prisma ABC (Fig. 120) mit der Fläche BC genau über g und bezeichne sorgfältig durch einen Nadelstich 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 zieh längs m' einen Bleistrich.

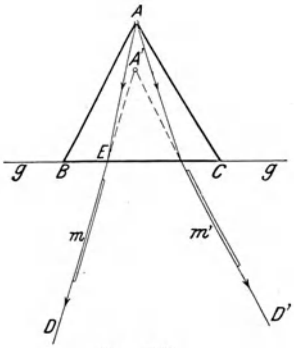

Fig. 120.

n) Entferne das Prisma und verlängere mit einem Zeichendreieck die Strecken m und m' bis zu ihrem Schnittpunkt A'.

o) Einfache Betrachtungen zeigen, daß sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts in Luft zu der in Glas wie $AE : A'E$ verhält.

p) Miß sorgfältig die Strecken AE und $A'E$ und berechne das Brechungsverhältnis des Glases, $\nu = AE/A'E$.

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	. . . .

4. Aufgabe. *Wie groß ist der Grenzwinkel für Glas?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1, S. 177, doch statt der Glasplatte ein großes Flintglasprisma mit drei polierten Flächen.

Anleitung. a) Setze vor ein Fenster *f* (Fig. 121), 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 bezeichne mit einem Nadelstich den Fußpunkt des Strichs *E*.

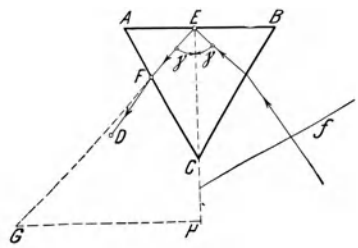

Fig. 121.

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, wie auf dem Gebiet *EB*, dem Grenzwinkel gleich oder größer. so wird alles Licht zurückgeworfen. Ist der Winkel, wie auf dem Gebiet *AE*, kleiner als der Grenzwinkel, so wird das Licht teils zurückgeworfen, teils durchgelassen. Die blaugrüne Linie, die das Feld in zwei Gebiete von ungleicher Helligkeit zerlegt, ist die Grenze, wo die völlige Spiegelung beginnt, also der Einfallswinkel gleich dem Grenzwinkel für Glas ist.

d) Lege den Maßstab so auf das Papier, daß seine Kante die Sehrichtung *(DF)* für den Fall festlegt, wo der grüne Rand mit dem Strich bei *E* zusammenfällt, und bezeichne durch einen Bleistiftstrich die Sehrichtung. Entferne das Prisma und verlängere den Bleistrich, bis er in dem Punkt *F* die Prismenseite *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.

5. Aufgabe. *Ändert ein Lichtstrahl, der durch eine planparallele Glasplatte geht, seine Lage und Richtung?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3 mit Ausnahme des Zirkels.

Anleitung. a) Hefte den Bogen auf das Reißbrett, 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. 122). 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 weitere Nadeln C und D, die eine nahe an der Vorderfläche, die andere weit davon entfernt, so ein, daß sie scheinbar mit A und B in einer Ebene liegen. Umringle die Nadelstiche und entferne Platte und Nadeln.

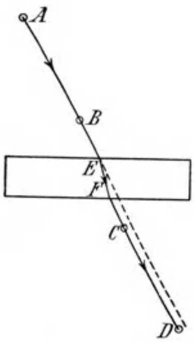

Fig. 122.

b) Zieh durch A und B und durch C und D je eine Gerade. Hat sich die Richtung des Strahls 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 gleich laufen. Zeichne den Weg EF, den der Strahl in dem Glas durchlaufen hat.

c) Mache mindestens fünf Versuche und benutze dabei stets andere 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.

6. Aufgabe. *Wo liegt das Bild eines Gegenstandes, den man durch eine Glasplatte betrachtet?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1.

1. Verfahren.

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 ins Auge eintritt.

b) Bringe auf der einen lotrechten Fläche der Glasplatte eine Marke (Dreieck aus gummiertem Papier oder Siegellacktropfen) an. Diese Marke E (Fig. 123) 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 Nadelkopf G und blicke senkrecht durch das Glas nach der Marke E. Man sieht außer dem Bild J der Marke auch noch das Bild des Nadelkopfs G, der sich an der Vorderfläche der Platte spiegelt.

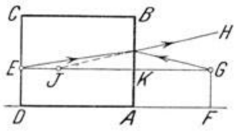

Fig. 123.

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 bei kleinem Einfallswinkel 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 das Brechungsverhältnis ν. Kennt man ν, so bestätigt der Versuch die Beziehung $KE = \nu\ KJ$. Ist die Richtigkeit der Formel bereits bewiesen, so gestattet der Versuch, das Brechungsverhältnis zu bestimmen.

2. Verfahren.

Literatur. Clay *13 Nr. 4.*

Anleitung. g) Stecke wie in Aufgabe 5 den Weg des Lichtstrahls $ABCD$ ab (Fig. 124).

h) Verschiebe die Nadel B nach einer ganz nahe gelegenen 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 nach dem Abweichungsverfahren, ob sich die Nadel A', die über die Prismenfläche hinausragen muß, mit dem Scheinbild von A deckt.

l) Zieh AA' und miß den Winkel, den diese Gerade mit den parallelen Glasflächen bildet, die beim Versuch benutzt worden sind.

m) Mache mit Tinte auf einer Fläche der Glasplatte einen Strich A parallel zu einer Kante (Fig. 125). Zieh 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 andere $\sim$ 10 cm davon entfernt, lotrecht so ins Reißbrett, daß sie scheinbar mit der Marke in einer Ebene liegen. Bezeichne die Nadelstiche.

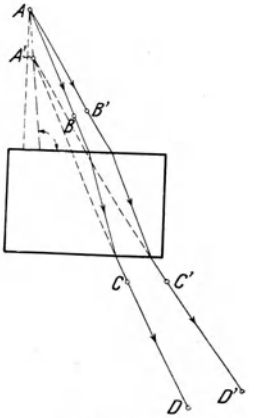

Fig. 124.

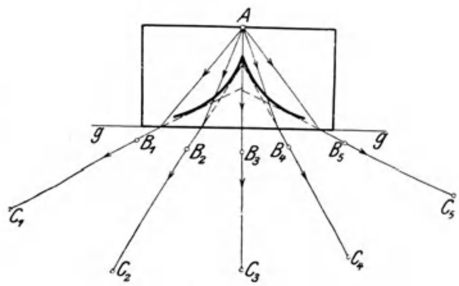

Fig. 125.

o) Ändere die Stellung des Auges, stecke nacheinander eine ganze Reihe von Nadelpaaren B_ν, C_ν ein und bezeichne ihre Stiche.

p) Entferne die Platte und die Nadeln und zieh 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 getrennte geometrische Bilder der Marke?

7. Aufgabe. *Welchen Weg macht ein Lichtstrahl, der durch ein Prisma geht?*

Geräte. Glasprisma. Vollständige Zeichenausrüstung. Putzleder.

Anleitung. a) Hefte den Bogen auf das Reißbrett und stecke zwei Nadeln D und E $\sim$ 10 cm voneinander entfernt lotrecht ein (Fig. 126). Stelle in der Nähe von E das Prisma auf das Papier und drehe es so, daß du D und E durch das Prisma hindurch erblicken kannst. Sieh mit einem Auge so auf die Fläche AC, daß sich die Bilder von D und E 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

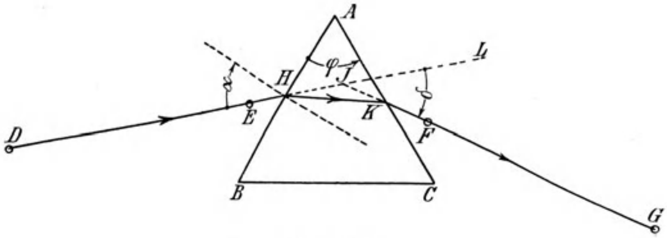

Fig. 126.

umfahre mit einem spitzen Blei den Umriß der Prisma-Grundfläche. Entferne Prisma und Nadeln.

b) Zieh durch D und E und durch F und G Geraden. Zeichne den Weg des Strahls in dem Prisma.

c) Läuft der austretende Strahl KG dem eintretenden Strahl DH gleich? 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. 127) ab. Verschiebe die Nadel E nach einer benachbarten Stelle E' und

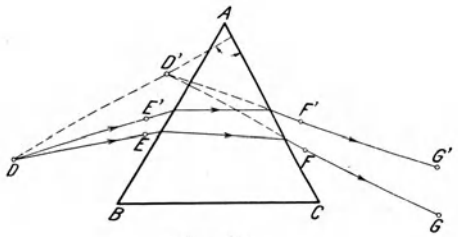

Fig. 127.

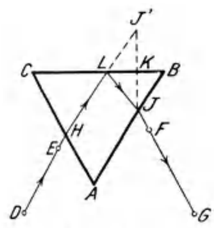

Fig. 128.

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. Zieh DD' und miß den Winkel, den diese Gerade mit der Kante AC bildet.

g) Lege wie in Fig. 128 das Prisma auf den Bogen und umfahre mit dem Blei den Umriß der Grundfläche ABC. Stecke nahe beim Prisma die Nadeln E und F lotrecht ein. Blicke 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 Ebene liegt.

h) Blicke 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 sieht). Umringle die Nadelstiche und entferne Prisma und Nadeln.

i) Ziehe die Strecke DE und verlängere sie bis zu dem Schnittpunkt H mit AC. Zeichne die Strecke GF und verlängere sie bis zu dem Schnittpunkt J mit AB. Der Lichtstrahl ist im Prisma 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 $J'H$. Sie schneidet BC in L. Es ist also HLJ der Weg des völlig gespiegelten Lichtstrahls im Prisma.

8. Aufgabe. *Welchen Weg macht ein Lichtstrahl, der beim Durchgang durch das Prisma am wenigsten abgelenkt wird?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 7.

1. Verfahren.

Anleitung. a) Stecke wie in Aufgabe 7 (a) den Weg des Lichtstrahls $DEFG$ ab (Fig. 126) und lege L ebenfalls durch eine Nadel fest.

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 das Auge bewegen, um alle Nadeln wieder in einer Ebene zu sehen. Wird der Strahl derart abgelenkt, daß man das Auge nach rechts bewegen muß, dann liegt 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, bleibt dann stehen und bewegt sich nun wieder rückwärts.

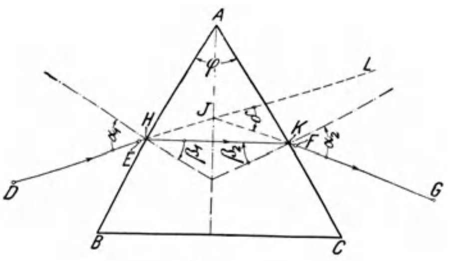

Fig. 129.

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. 129).

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	β_2	$\beta_1 - \beta_2$	AH cm
	Mittel	. . . . . .		Mittel	. . . . . .	

AK cm	$AH - AK$	Ablenkung δ	Brechender Winkel φ	$^1/_2\, \varphi$	$^1/_2\, (\delta + \varphi)$	Brechungsverhältnis 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 das Brechungsverhältnis ν nach der Formel

$$\nu = \frac{\sin \frac{1}{2} (\delta + \varphi)}{\sin \frac{1}{2} \varphi}.$$

2. Verfahren.

Anleitung. i) Stelle das Prisma auf das Papier und ziehe mit einem scharfen Blei Geraden längs AB und AC (Fig. 129). 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 Papier und Auge gestatten. Sieh 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 Ebene 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 DL. Sie schneidet AC in K. Errichte in den Punkten H und K die Einfallslote.

l) Verfahre wie bei (d) bis (h).

III. Kugelspiegel und Kugellinsen.

9. Aufgabe. *Welche Bilder erzeugt ein Hohlspiegel?*

Geräte. Kugelspiegel. 2 Stricknadeln in Holzklötzen. Millimetermaßstab, an dem Nullende abgeschrägt. Putzleder.

Anleitung. a) Benutze als Gegenstand, dessen Bilder zu untersuchen sind, die Spitze einer Nadel. Stelle sie in mindestens 30 cm Abstand von dem Spiegel auf, sieh daran vorbei in den Spiegel und suche ihr Bild (Fig. 130). Findest du es nicht, so drehe ein wenig den Spiegel, da das bewegte Bild leichter zu erkennen ist. Ist das Bild umgekehrt und kleiner als der Gegenstand? Wenn nicht, entferne die Nadel weiter vom Spiegel.

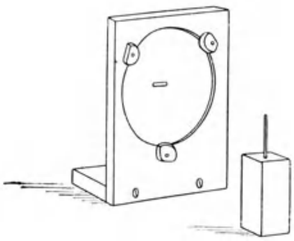

Fig. 130.

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 diese 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.* Kehre den Spiegel gegen die Sonne und halte in den Brennpunkt erst ein kleines weißes, dann ein berußtes Stück Papier, angekohlten Zunder, den Kopf eines Phosphorstreichholzes, schwarz angekohlte gelbe Lunte usw.

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 om Spiegel	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

g) Vergleiche die Bewegungen der Nadelspitze A und ihres Bildes B mit den Wanderungen zweier Punkte P und Q, die zu dem Punktepaar M und N harmonisch konjugiert sind. Zu welchen Punkten der Spegelachse sind bei dieser Annahme wohl A und B konjugiert? *Gegenstandsweite a, Bildweite b.* Welche Formel läßt sich nach dieser Forschungsannahme für den Krümmungshalbmesser r des Spiegels als harmonischem 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 die eine Nadel in die Achse des Spiegels und mache durch die andere Nadel die Lage des Bildes kenntlich. Bringe nach dem „Abweichungsverfahren" (vgl. Aufg. 2, S. 175) diese Nadel und das Bild jener genau zur Deckung. Miß nun mit dem abgeschrägten Millimeterstab (Fig. 131) die Gegenstandsweite a und die Bildweite b. Stelle die Nadel dreimal ein und nimm aus den Messungen das Mittel.

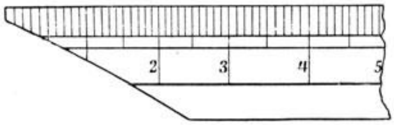

Fig. 131.

i) Führe den Versuch sechsmal aus und wähle dabei je zweimal

$$a > r, \quad r > a > f, \quad f > a.$$

Stelle in dem 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 die Ergebnisse in die folgende Tafel 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	. . . . .	. . . . .

$\frac{1}{2} r = f = \ldots$

l) Berechne $1/a + 1/b$ und f. Welche Beziehung besteht zwischen den verschiedenen Werten von f? Bilde den Mittelwert.

m) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei $x = a$ und $y = b$. Verbinde die zusammengehörigen Punkte $a|0$ und $0|b$ miteinander. In welchem Punkt schneiden sich die Geraden? Welche optische Bedeutung haben die Koordinaten des Schnittpunkts? Welchen Wert für die Brennweite liefert die bildliche Darstellung?

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 sechsmal die Einstellung und Messung. 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 bildlichen Bestimmung.

o) Klemme den Spiegel an einem Bunsengestell 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) Bringe den Spiegel in den Schatten, fange in der gleichen Weise mit dem schmalen Papierstreifen das Bild eines entfernten Gebäudes auf und wiederhole die Messung.

10. Aufgabe. *Welche Bilder erzeugt ein erhabener Spiegel?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 9.

Anleitung. a) Stelle vor die erhabene Seite des Spiegels als Gegenstand eine Nadel und suche ihr Bild. Liegt es vor oder hinter dem Spiegel? Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand? Ist es aufrecht oder umgekehrt?

b) Stelle die Nadel in verschiedenen Abständen vom Spiegel 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 die eine Nadel vor den Spiegel in seine Achse, schaue durch den schmalen wagerechten Spalt der Silberschicht und bringe nach dem Abweichungsverfahren hinter dem Spiegel die andere Nadel mit dem Bilde der erstern genau zur Deckung. Halte dabei ein Blatt weißes Papier hinter die Nadel, die auf der Rückseite des Spiegels steht, und mache sie so gut sichtbar.

d) Miß a und b und nimm b negativ, wenn das Bild hinter dem Spiegel liegt. 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.

11. Aufgabe. *Welche wirklichen Bilder erzeugt eine Sammellinse?*

Geräte. Optische Bank. Gegenstand. Linse. Schirm. Nadel mit Holzfuß. Planspiegel. Schnittbrenner. Gasschlauch. Putzleder. Dreiecke. Millimeterpapier.

Anleitung. a) Stelle an dem Ende der optischen Bank, das vom Fenster weggewandt ist, als Gegenstand den Schirm mit der Drahtgaze auf, beleuchte ihn von hinten mit einer Glühlampe oder mit dem Schnittbrenner und richte dabei dessen Flamme mit dem Rande gegen das Gitter. Setze auf das andere Ende der Bank den Kartonschirm. Verschiebe zwischen diesem und dem Gegenstande die Linse vor- und rückwärts und regle die Flammenhöhe, bis ein möglichst scharfes Bild des Drahtfensters auf dem Schirm erscheint (Fig. 132). 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 der Linse das Bild oder der

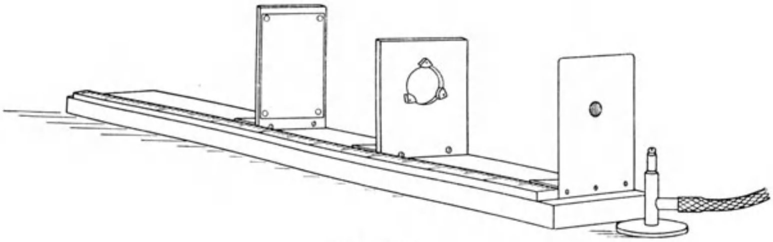

Fig. 132.

Gegenstand näher, wenn das Bild kleiner als der Gegenstand ist? Steht der Linse das Bild oder der Gegenstand 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 Lagen von Gegenstand, Linse und Bild zu dem 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	f cm
Gegenstand	Linse	Schirm				berechn.	beob.
					Mittel	. . . . .	. . . . . .

e) Mache wenigstens 5 Messungen von a und b und ändere dabei jedesmal die Entfernungen zwischen Gegenstand und Schirm.

f) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei $x = a$ und $y = b$. Verbinde die Punkte $a \mid o$ und $o \mid b$ miteinander (Fig. 133). Schneiden sich diese Geraden in einem Punkt? Miß die Koordinaten des Punkts 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 $f \mid f$ geht? Welche Beziehung muß also nach der bildlichen Darstellung zwischen a, b und f bestehen? *Linsenformel.*

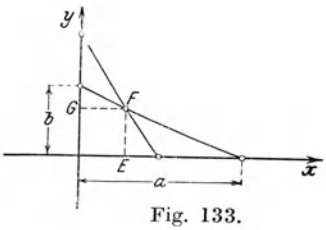

Fig. 133.

g) Berechne $1/a + 1/b$, f und den Mittelwert der f und vergleiche diesen mit dem Wert, der bei der bildlichen 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 auch Strahlen herstellen, die wie die Sonnenstrahlen parallel sind? Befestige mit Klebwachs auf der Rückseite des Schirms einen ebenen Spiegel und stelle ihn so hinter die Linse, daß er senkrecht zur Linsenachse steht. 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 fünfmal die Einstellung und die Messung, 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 Gleichung zweiten Grades

$$x^2 - lx + lf = 0.$$

Die Diskriminante der linken Seite ist

$$D = l\,(l - 4f).$$

Es ist also $4f$ der kleinste Abstand des Schirms vom Gegenstand, wobei noch ein Bild entsteht. 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 statt 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 diese Formel auch 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 vergleich es mit den Ergebnissen von (g), (h) und (i).

12. Aufgabe. *Welche Scheinbilder erzeugt eine Sammellinse?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 11, doch ohne Drahtnetz, dazu: Halbe Sammellinse. Stecknadeln. 2 Nadelhalter.

Anleitung. a) Stelle ähnlich wie in Aufgabe 11 (a) den Brenner und die ganze Linse so auf die Bank, daß die Gegenstandsweite $\sim$ 4 cm ist. Sieh durch die Linse nach der kleingestellten 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 die umgekehrten Bilder mit dem Schirm auf und stelle sie scharf ein.

b) Entferne den Schirm, betrachte das umgekehrte Bild mit dem Auge, bewege den Kopf seitwärts hin und her und untersuche so nach dem Abweichungsverfahren, ob das Bild oder die Linse dem Auge näher liegt. Erzeuge ein aufrechtes Bild und untersuche in ähnlicher Weise, ob es weiter als die Linse vom Auge entfernt ist. 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. 134) 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 Linsenachse liegt und der Abstand der Linsenmitte von der Nadelspitze $\sim$ 4 cm ist. Sieh durch die Linse und prüfe, ob ein gleichgerichtetes Bild entsteht, dessen Spitze in der Linsenachse liegt. Stelle den andern Nadelhalter noch weiter von der Linse entfernt auf als der erste und befestige daran eine Nadel parallel zur ersten, doch so,

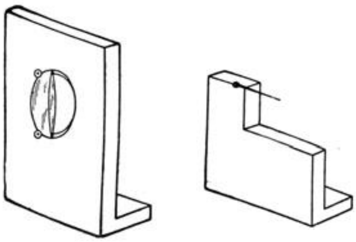

Fig. 134.

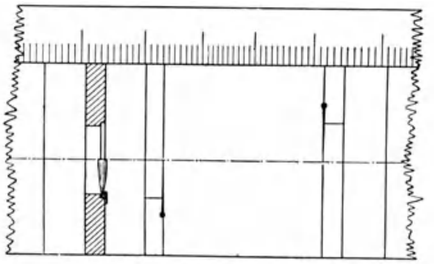

Fig. 135.

daß sie entgegengesetzt gerichtet ist (Fig. 135). Verschiebe 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 Kopfs stets zusammenbleibt, also scheinbar die eine Nadel immer 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?

13. Aufgabe. *Welche Scheinbilder erzeugt eine Zerstreuungslinse?*

(Handbuch S. 282.)

14. Aufgabe. *Wie verhalten sich bei einer Sammellinse die Größen von Bild und Gegenstand?*

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) Bezeichne mit einem Faden, der mit Klebwachs auf dem Drahtnetz befestigt wird, den wagerechten mittlern Draht und miß mit der Schublehre (vgl. S. 8) die Länge des beleuchteten Drahtstücks A und seines Bildes B.

c) Stelle dreimal ein, miß jedesmal a, b, A und B und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

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 Drahts 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 b cm	Gegenstandsweite a 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

$$a_1 + d = f(1 + 1/v_2),$$

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 an dem einen Ende der Bank und die Linse $\sim$ 30 cm von dem andern Ende auf. Entwirf auf dem Schirm ein scharfes Bild des Drahtnetzes, miß mit der Schublehre sehr sorgfältig die Länge A des bezeichneten mittelsten Drahts 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 Schirms	Länge des Gegenstandes A cm	Länge des Bildes B_1 cm	B_2 cm	Vergrößerungen $v_1 = \frac{B_1}{A}$	$v_2 = \frac{B_2}{A}$	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. 136). 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, größer erscheint, als wenn man ihn mit bloßem Auge aus 25 cm Abstand beobachtet, aus der „bequemen Leseweite" oder „vereinbarten Sehweite" oder der „mittlern Nahepunktsentfernung" fehlerloser Augen.

Fig. 136.

p) Ist f cm die Brennweite der Linse, so ist die Vergrößerungszahl des Fadenzählers

$$m = \frac{25}{f}.$$

q) Miß so genau wie möglich die Brennweite f cm der Lupe, berechne die Vergrößerungszahl m des Fadenzählers und vergleiche das Ergebnis mit dem Wert, der bei (o) ermittelt worden ist.

15. Aufgabe. *Welche Gestalt hat das Bild eines Pfeils, das eine Sammellinse entwirft?*

Geräte. Linse. Gegenstand. Schirm. Maßstab, 30 cm lang. Zeichenausrüstung. Rollenpapier. Reißnägel. Messingdraht. Schere. Klebwachs.

Anleitung. a) Hefte auf den Tisch einen Streifen Papier, der 70 cm 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, in ∾ 10 cm Abstand einen Pfeil c (Fig. 138), 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 ∾ 30 cm Länge. Befestige auf dem Schirmbrett ein weißes Blatt Papier, zieh darauf einen lotrechten Strich e (Fig. 138) 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 ∾ 19 cm groß. Stelle die Linse sorgfältig ein und bezeichne dann ihre Lage. Setze 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 lotrecht in der Ebene dg liegt und die Spitze dicht über d steht.

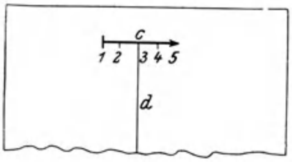

Fig. 137.

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 Strichs 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.

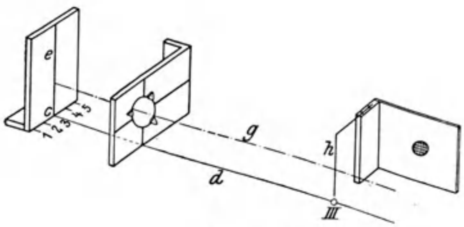

Fig. 138.

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? *Bildfeldwölbung*. Vergleiche die Richtungen des Pfeils und seines Bildes miteinander. Verbinde die Punkte (1, 2, . . .) des Pfeils 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 ~ 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 ~ 8 cm Abstand von *c* mit Klebwachs so auf, daß ihre Achse *g* über dem Lote *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 (Nadelklotz S. 188) auf und befestige darauf den Draht so, daß der Schenkel *h* lotrecht nach oben gerichtet ist.

f) Sieh aus 20 bis 30 cm Entfernung durch die Linse nach dem Strich *e* und gleichzeitig über die Linse weg nach dem Draht *h*. Bewege das Brett, worauf der Draht befestigt ist, und bringe nach dem „Abweichungsverfahren" *h* mit dem Bilde von *e* zur Deckung. Lege mit einem Dreieck den Punkt des Papiers fest, der lotrecht unter *h* liegt, und bezeichne ihn mit III.

g) Verfahre wie bei (c) und (d).

IV. Optische Instrumente.

16. Aufgabe. *Stelle ein Himmelsfernrohr her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

1. Verfahren.

Geräte. 2 Sammellinsen von 25 cm und 7,5 cm Brennweite. 2 Linsenhalter. Rahmen und Drahtgaze, lotrecht in einem Halter befestigt, oder Nadel auf Holzklotz. Millimeterstab. Schirm der optischen Bank. Weißer Karton. Dreieck. Tusche. Reißnägel. Klebwachs oder gummiertes Papier. Putzleder.

Anleitung. a) Halte den Millimeterstab mit dem einen Ende gegen ein Stück weißen Karton (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 $f_1/f_2 = \dots$

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 Bilde zur Deckung. Setze, sobald dies geschehen, zwischen Auge und Gaze die andere 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 der Vorderlinse von der Augenlinse. Trage die Ergebnisse in die Tafel ein, berechne den Mittelwert und vergleich ihn mit der Summe von den Mittelwerten der Brennweiten.

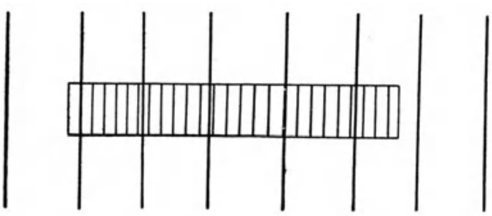

Fig. 139.

k) Schneide aus Karton einen Streifen (30 cm × 5 cm) und zieh parallel den kurzen Seiten in 2,5 cm Abstand 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 gegen einander 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. 139. 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.

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch ohne Linsenhalter, dazu: Pappröhre. 2 Bunsengestelle.

Anleitung. **n)** Verfahre wie bei (a) bis (d).

o) Befestige mit Klebwachs oder mit Streifen aus gummiertem Papier die Linse mit der längern Brennweite f_1 an einem Ende der Pappröhre. 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 andere 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 hinter 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 der Augenlinse, bis das Bild so scharf wie möglich erscheint. *Einstellen des Fernrohrs.* Stelle die Augenlinse mehrmals ein und miß jedesmal den Abstand zwischen Vorderlinse und Augenlinse. 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).

17. Aufgabe. *Stelle ein Mikroskop her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

1. Verfahren.

Geräte. 2 Sammellinsen von 2,5 bis 7,5 cm Brennweite. 2 Linsenhalter. Millimeterteilung auf weißem Papier. Bunsengestell. Rahmen aus Drahtgaze oder Nadel auf Holzfuß.

Anleitung. **a)** Stelle die Millimeterteilung wagerecht vor der einen Linse in deren Achse so auf, daß ein umgekehrtes und stark vergrößertes Bild entsteht, und bringe es nach dem „Abweichungsverfahren" mit der Drahtgaze (oder der Nadel) zur Deckung.

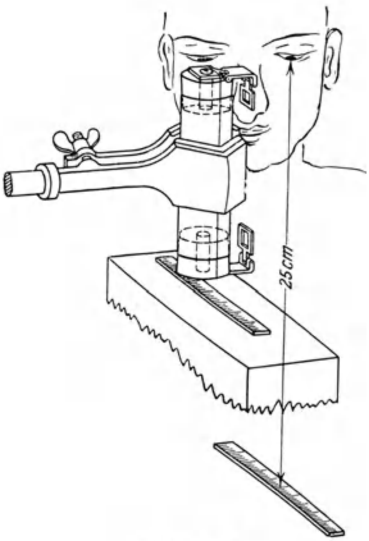

Fig. 140.

b) Benutze die andere 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 ein wenig dem Objektiv den Gegenstand. Wie muß man die Augenlinse verschieben, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten? Ist es stärker vergrößert als vorher?

2. Verfahren.

Geräte. 2 Fadenzähler. Röhre 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. 140). Klemme die Röhre lotrecht über dem Tisch fest und stelle durch Heben oder Senken ein vergrößertes Bild der Millimeterteilung scharf ein, die auf einem Holzklotz darunter liegt. 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 sie genau 25 cm von dem Auge absteht, das nicht durch das Mikroskop sieht. Betrachte gleichzeitig beide Teilungen, die eine durch das Mikroskop und die andere mit dem unbewaffneten Auge, und bestimme, wieviel Millimeter des Maßstabes von einem Millimeter der Teilung unter dem Mikroskop bedeckt werden. *Vergrößerungszahl des Mikroskops.*

V. Farbenzerstreuung.

18. Aufgabe. *Wie zerstreut ein Prisma das Licht?*

Geräte. Schwalbenschwanzbrenner. Gasschlauch. 2 gleiche Prismen. Blende aus schwarzem Blech mit einem lotrechten Spalt. Weißer Schirm. Holzklotz. Rechtecke 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 unmittelbar ins 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 Spalts mit der Breite des Farbenbandes. *Spektrum.*

b) Schneide in ein anderes Stück schwarzen Karton zwei Spalte von 2 mm Breite, die 2 mm voneinander abstehen. Verdecke den einen Spalt und beschreibe das Farbenband. Decke den Spalt auf und beschreibe die Farbenänderung in der Mitte des Lichtflecks, wo sich beide Bänder übereinander lagern. Vereinigen sich etwa hier die Bandfarben 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) Schneide aus weißem Karton einen Streifen von ~ 5 cm Länge und ~ 2,5 cm Breite aus und zieh 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 $\sim$ 15 cm Abstand 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. Schneide aus rotem, gelbem, grünem, blauem, violettem und weißem Papier $\sim$ 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 vors Auge, 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 Spalts 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 Farbenbandes auf die Stelle hinbewegt, wo vorher der nicht abgelenkte weiße Lichtfleck lag. Hört bei einer bestimmten Stellung des Prismas die Bewegung des Bandes in diesem Sinn auf? Bewege das Prisma in demselben Sinn wie vorher weiter. Wie bewegt sich nun das rote Ende des Bandes? *Kleinste Ablenkung.* Stelle jetzt und bei allen künftigen Versuchen das Prisma so, daß die kleinste Ablenkung stattfindet. Rücke den Schirm so, daß das Farbenband möglichst scharf wird.

l) Welche Farbe hat das Licht, bevor 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 hin und her, wodurch das Licht eintritt. Wie verschiebt sich das Farbenband? Erzeugen die verschiedenen Stellen der Prismenfläche an verschiedenen Stellen des Schirms farbige Bänder? Lagern sich, wenn die ganze Prismenfläche benutzt wird, die Streifen auf dem Schirm übereinander? Verkleinere mit dem Kartonstreifen die Breite des Spalts. Fahre mit dem Kartonstreifen längs der Prismenfläche hin und her, woraus das Licht austritt. Wie läßt sich die bandartige Verbreiterung des Lichtflecks 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 anderes Prisma in die Stellung der geringsten Ablenkung und zwar so, daß die brechenden Kanten beider Prismen gleich laufen und nach derselben Seite gekehrt sind. Wo liegt jetzt das Farbenband auf dem Schirm? Wird die Zerstreuung des Lichts 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 Farbenband 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 Farbenband, 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 mit dem Schirm die Strahlen auf, die aus dem zweiten Prisma austreten. Zerlegt das zweite Prisma die farbigen Strahlen noch weiter? Welche Strahlen werden am stärksten abgelenkt?

19. Aufgabe. *Lassen sich die Farben, in die weißes Licht durch ein Prisma zerlegt wird, wieder zu Weiß vereinigen?*

Geräte. Schwalbenschwanzbrenner. Gasschlauch. 2 gleiche Prismen. Blende. Weißer Schirm. Holzklotz. Schwarzer Karton. Schere.

Anleitung. a) Entwirf wie bei Aufgabe 18 (k) auf dem Schirm ein Farbenband. Stelle dicht hinter das Prisma ein anderes Prisma derart, daß die Kanten und die einander zugekehrten Flächen gleich laufen und die brechenden Kanten nach verschiedenen Seiten gewandt sind. Ist auf dem Schirm ein Farbenband zu sehen? Wie wirkt das zweite Prisma auf die zerlegten Strahlen ein, die aus dem ersten Prisma austreten? Welchen Körper bilden beide Prismen zusammen?

b) Fahre mit einem schmalen Kartonstreifen zwischen den beiden Prismen hin und her. Sind die Bilder farbig, die von den Reststrahlen erzeugt werden?

c) Nimm das zweite Prisma weg und betrachte dadurch aus einem Abstand, der gleich dem Abstand des ersten Prismas vom Schirm ist, das Farbenband, 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 Farbenbandes? 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?

20. Aufgabe. *Hat eine Sammellinse die gleiche Brennweite für rotes und für blaues Licht?*

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. 190.

Anleitung. a) Beklebe ein Stück Pappe halb mit blauem und halb 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. Blende dabei das Licht der Lampe von dem Schirm ab. Stelle zunächst den Faden auf dem blauen Felde 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 auf dem Schirm ein scharfes Bild eines mit großen schwarzen Buchstaben bedruckten Papiers. Stelle vor eine sehr starke Lichtquelle ein rotes Glas und beleuchte so das Papier mit rotem Licht. Ist das Bild auf dem Schirm noch scharf? Stelle es ganz scharf ein. Ersetze das rote Glas durch ein blaues. Bleibt das Bild auf dem Schirm scharf? Nähere der Linse den Schirm 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) Bestimme 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.*

Geräte. Glasprisma. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Schirm mit Spalt. Dickes weißes Fließpapier oder Asbestpapier. Schere. Glühlampe. Natriumchlorid. Natriumnitrat. Lithiumchlorid. Thallosulfat. 4 Prüfgläser, die in einem Becherglas stehen. Fettstift oder gummiertes Papier. Rotes und blaues Glas. Stricknadel. Putzleder.

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 vors 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 Farbenband mit jenem der festen Kohle (a). Enthält es Farben, die in dem Farbenbande 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 Prüfglas eine Kochsalzlösung herstellen, einen Streifen Fließpapier oder Asbestpapier, worauf er, ebenso wie auf das Prüfglas, NaCl geschrieben hat, damit befeuchten und das Ende des Papiers 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 $NaNO_3$ geschrieben hat, mit einer Natriumnitratlösung befeuchten. Welche Farbe wiegt im Farbenband stark vor, sobald der Streifen die Flamme berührt? 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, je drei oder alle vier 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 Farbenbandes 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.*

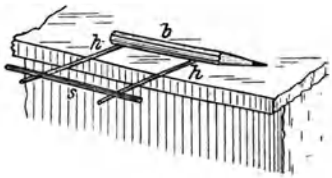

Fig. 141.

l) Lege auf das Fensterbrett zwei Holzstäbchen *h* (Fig. 141) 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. Wie viele schwarze Linien siehst du und in welchen Farben liegen sie? *Fraunhofersche Linien.*

22. Aufgabe. *Wie ist ein Spektroskop eingerichtet?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 19, S. 205, dazu: 2 Sammellinsen von 15 cm Brennweite. Sammellinse von 5 cm Brennweite oder Fadenzähler. 3 Linsenhalter. Schirm aus Drahtgaze oder dergleichen.

Anleitung. a) Stelle in 30 cm (= 2f) Abstand vom Spalt eine Sammellinse von 15 cm Brennweite auf und entwirf damit ein scharfes Bild des Spalts auf dem Schirm. Stelle zwischen Linse und Schirm das Prisma auf, und zwar möglichst nahe der Linse. 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 Farbenband auf. Drehe das Prisma wie in Aufgabe 18 (k) so, daß das Farbenband von dem ursprünglichen Spaltbilde den kleinsten Abstand hat. Bewege dann den Schirm ein wenig nach vorn oder hinten, damit das Farbenband so hell wie möglich wird und der obere und untere Rand ganz scharf eingestellt sind.

b) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgaben 18 (k) bis (q) und 19.

c) Nähere dem Spalte die Linse auf 15 cm (= f). Bei dieser Stellung entwirft die Linse auf dem sehr weit entfernten Schirm ein scharfes Bild des Spalts. 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 andere Linse von 15 cm Brennweite so auf, daß das Farbenband 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 Farbenbandes auch an dem obern und dem untern Rand 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 Farbenband beschaffen, das man durch diese Vorrichtung sieht? *Spektroskop.*

e) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgabe 21.

VI. Beugung und Interferenz.

23. Aufgabe. *Wie verhält sich Licht beim Durchgang durch enge Öffnungen?*

Geräte. Argandbrenner mit Schornstein. Rote Glasplatte. Bunsengestell. Postkarten. Schere. Blattzinn 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 vors 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 vorm 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 seine Breite durch schwaches Auseinanderziehen oder Zusammenschieben der Ränder. Wird das Bild breiter oder schmäler, wenn man die Ränder auseinanderzieht?

d) Drehe die Lampe um, so daß jetzt der Spalt dir zugekehrt ist. Halte die Karte dicht vors 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 bei dem Durchgang durch einen engen Spalt darstellt. *Beugung. Wellenlehre.*

f) Mach in eine Postkarte oder noch besser in ein Stück Blattzinn 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?

24. Aufgabe. *Kann man Dunkelheit erzeugen durch die Vereinigung zweier Strahlenbündel, die von derselben Lichtquelle ausgehen?*

Geräte. Argandlampe. Rechteckige Stücke einer entwickelten Lichtplatte. Kleines Lineal.

Anleitung. a) Schneide mit einem scharfen Messer längs einem Lineal (dies fest aufdrücken) zwei feine gleichlaufende Striche, die nicht weiter als 0,03 cm voneinander abstehen, in die Schicht der Lichtbildplatte. Betrachte durch das Spaltpaar den Spalt der Lampe. Wieviel Strahlenbündel gelangen ins 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 anderes Paar feiner gleichlaufender 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 Natriumlichts?*

Geräte. Auerbrenner. Gasschlauch. 3 Meterstäbe. Bunsengestell. Schwarzer Karton. Asbestpapier. Schere. Beugungsgitter. Halter für das Gitter. Gesättigte Lösung von Natriumnitrat.

Anleitung. a) Stelle am Seitenrande 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 Brenners und setze dann den Blechmantel auf. Stelle in $\sim$ 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. Dabei achte man darauf, daß die Gitter-öffnungen 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. 142). Setze auf die Mitte des obern

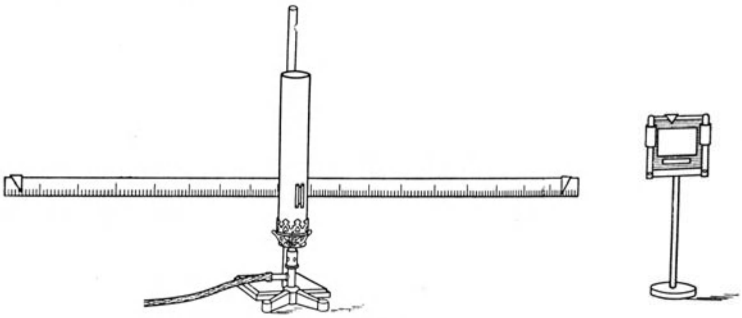

Fig. 142.

Gitterrandes einen kleinen Reiter aus schwarzem Karton (Fig. 143 I) und auf den Maßstab rechts und links von der Lampe je einen Reiter aus schwarzem Karton von der in Fig. 143 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 bezeichnet 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.

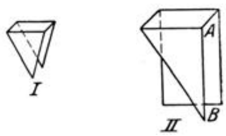

Fig. 143.

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 *Gitterbreite (Gitterkonstante)* b ist, d. h. die Weite einer Gitteröffnung, vermehrt um die Breite des angrenzenden dunkeln Strichs, 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. . . . Gitterbreite 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	. . . . . .

Neunter Teil.

Magnetismus.

I. Coulombs Gesetz.

1. Aufgabe. *Hängt die Wechselwirkung zwischen zwei Magnetpolen von ihrer Entfernung und von ihren Stärken ab?*

(Handbuch S. 303.)

II. Magnetische Felder.

2. Aufgabe. *Welche Richtungen haben auf dem Arbeitstisch die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes?*

Geräte. Ein Viertel eines Zeichenbogens. Zeichenbussole. Maßstab. Klebpapier oder Klebwachs. Spitzer harter Bleistift oder 2 Stecknadeln. 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 bezeichne mit dem Bleistift möglichst genau die Lage des Nordpolausschnitts (Fig. 144). Verschiebe die Bussole in der Richtung, wohin 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 bezeichne wiederum die Lage des Nordpolausschnitts. Fahre so fort, bis der Rand des Papiers erreicht ist. Verbinde alle Punkte durch eine Linie. *Kraftlinie.*

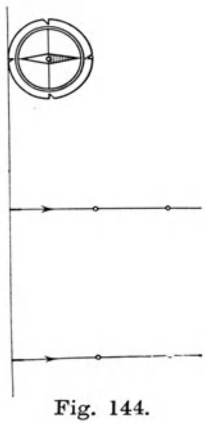

Fig. 144.

b) Zeichne weitere Kraftlinien und beginne jedesmal bei einem Teilstrich am Südrande 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 ein flüchtiges Bild des Feldes in das Heft.

3. Aufgabe. *Welche Richtungen haben die Kraftlinien des magnetischen Feldes, das die Erde und ein Stabmagnet erzeugen?*

Geräte. Stabmagnet. Zeichenbogen. 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 Bleistifte den Umfang des Magnets und bezeichne an dem Umriß die Lage der Pole mit den Buchstaben *N* und *S*. Zeichne längs dem Umriß 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. 213, 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 an dem Südrande des Papiers anfangen und den Magnet nicht treffen.

e) Zeichne ein flüchtiges Bild 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, den Nordpol nach Osten, und verfahre wie bei (a) bis (e).

h) Lege die Achse des Magnets von Osten nach Westen, den Nordpol nach Westen, und verfahre wie bei (a) bis (e).

4. Aufgabe. *Mache den Verlauf der Kraftlinien in der Nähe eines Magnets durch Eisenfeilspäne sichtbar.*

Geräte. 2 Stabmagnete. Hufeisenmagnet. Stabmagnet mit kreisförmigem Querschnitt, Ring aus weichem Eisen. Ring, ebenso groß, in Viertel zerschnitten. Holzleisten, Korkhammer. Streubüchse. Feilspäne. Paraffin. Weißblechschale. 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 ein flüchtiges Bild des Feldes 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 ein flüchtiges Bild in das Heft.

α) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, ungleichnamige Pole gleich gerichtet.

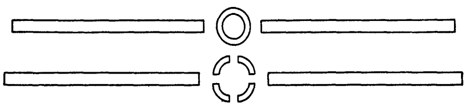

Fig. 145.

β) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, gleichnamige Pole gleich gerichtet.

γ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand einander zugekehrt.

δ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, gleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand einander zugekehrt.

ε) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 5 cm Abstand einander zugekehrt, dazwischen ein eiserner Ring (Fig. 145).

ζ) Wie bei (*ε*), doch Polabstand 6 cm, dazwischen ein in Viertel zerschnittener Ring.

η) Hufeisenmagnet.

ϑ) Runder Stabmagnet, nebst Holzleisten aufrecht gestellt; Papier wagerecht über die Stirnflächen 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.

5. Aufgabe. *Wie verlaufen die Waglinien (Niveaulinien) in einem Felde, das zwei Stabmagnete erzeugen?*

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.

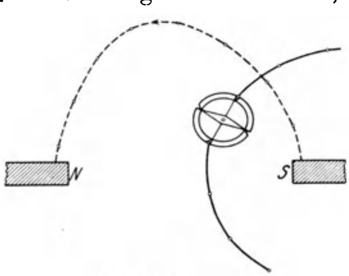

Fig. 146.

b) Zeichne mit der Bussole 7 bis 8 Kraftlinien und ebensoviele Waglinien (Fig. 146). Bei der Aufnahme der Waglinien drehe man die Bussole so, daß die Nadel über dem einen Strich der Grundplatte steht, und merke dann die Enden des Strichs an, der auf jenem senkrecht steht. Punktiere die Kraftlinien und ziehe die Waglinien aus. Welche Winkel bilden die Kraft- und Waglinien miteinander?

6. Aufgabe. *Ist an verschiedenen Stellen des Arbeitsraums die Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus gleich groß?*

Geräte. Schwingungs - Magnetometer. Stechuhr. Zielvorrichtung. Nachtlicht.

Anleitung. **a)** Stelle an einem Orte des Arbeitsraums 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 Abstande davon, unter einem großen Winkel zum Spiegellot, 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 andern Magnets oder eines Messers in Schwingungen, deren Bogen nach jeder Seite der Gleichgewichtslage nicht größer als 10° 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 die Uhr zum Stehen, sobald die Zahl $N = 100$ erreicht ist, 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_v 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 die Drehmasse 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_v Gauß die an einer andern Stelle des Arbeitsraums, so ist $H_v/H = n^2/n_0^2$, wo n_0 die Schwingungszahl am Hauptort bezeichnet.

7. Aufgabe. *Wie ändert sich die Feldstärke in einem Felde, das ein Magnet erzeugt?*

1. Verfahren.

(Handbuch S. 315.)

2. Verfahren.

Geräte. Schwingungsmagnetometer nach SEARLE. ROBISONscher Magnet. Halter dafür. Stechuhr. 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 auf dieser Geraden von ihrer Mitte O aus die Strecken $r = 10$, 12, 14, 16, 20 und 24 cm 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 Merknadel entfernt, bestimme dreimal aus der Zeit von $\sim$ 30 kleinen Schwingungen die Schwingungszahl im Erdfeld und bilde daraus den Mittelwert n_o.

k) Klemme mit einem durchgeschnittenen Kork den ROBISONschen Magnet lotrecht so im Halter fest, daß seine Spitze genau auf dem Punkte der Geraden steht, der 10 cm von O entfernt ist (Fig. 147, S. 218). Liegt der Punkt südlich vom Magnetometer, so setzt man den Nordpol des Magnets aufs 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 angemerkten 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 Feld und n_o die im Erdfeld, so ist

$$\frac{\mathfrak{h} + H}{H} = \frac{n^2}{n_o^2}$$

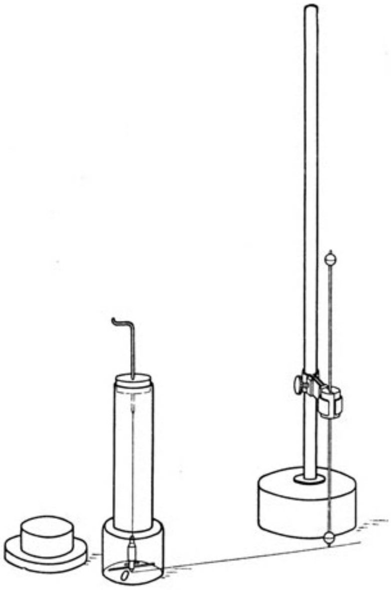

Fig. 147.

und daher

$$\mathfrak{h} = \frac{n^2 - n_0^2}{n_0^2} H.$$

Bezeichnen $\mathfrak{m}$ die Polstärke des ROBISONschen Magnets, $\mathfrak{m}'$ die der schwingenden Magnetnadel und r cm den Abstand des Pols A

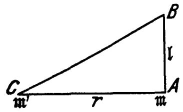

Fig. 148.

(Fig. 148) des ROBISONschen Magnets von der Mitte C der Magnetnadel, so ist die Kraft, womit 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,

$$F_2 = -\frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2 + \mathfrak{l}^2} \cdot \frac{r}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{1/2}} = -\frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{r^2} \cdot \frac{r^3}{(r^2 + \mathfrak{l}^2)^{3/2}},$$

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 an dem 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	. . . .

8. Aufgabe. *Ist die Arbeit, die erforderlich ist, um einen Nordpol von einer Wagfläche auf eine andere zu verschieben, vom Weg abhängig?*

Geräte. Zeichenbogen. Klebpapier oder Klebwachs. Spitzer harter Bleistift. Stabmagnet. Schwingungsmagnetometer. Halter dafür. Zeichenbussole. Stechuhr. Zielvorrichtung. Nachtlicht. Maßstab. Schere.

Anleitung. a) Hefte mit Klebpapier oder Klebwachs einen halben Zeichenbogen auf den Tisch. Lege den Stabmagnet in der Nordsüdrichtung darauf, umfahre den Umriß und bezeichne die Pole.

b) Zeichne wie in Aufgabe 3, S. 214, und Aufgabe 5, S. 215, mit der Zeichenbussole ~ 5 cm lange Stücke von drei Kraftlinien $\overline{12}$, $\overline{34}$ und $\overline{56}$ (Fig. 149) und von zwei Waglinien $\overline{135}$ 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.

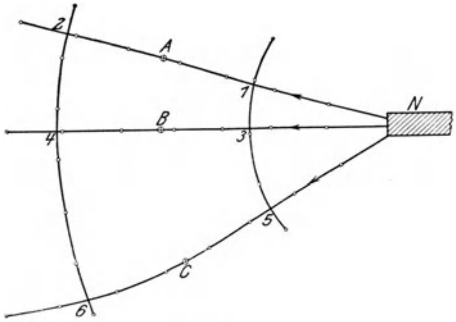

Fig. 149.

c) Stelle 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 Wege 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 ein Vielfaches von 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 die gleichbleibende Verhältniszahl 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?*

(Handbuch S. 321.)

Zehnter Teil.

Galvanismus.

I. Quellen des elektrischen Stroms.

1. Aufgabe. *Wie wirkt verdünnte Schwefelsäure auf Zink ein?*

Geräte. Verdünnte Schwefelsäure. n-Kalilauge. Gekörntes chemisch reines Zink. Quecksilber. Ammoniak. Lackmuspapier-Streifen. 5 Prüfgläser. Batterieglas. Zinkblechstücke. Quecksilberbrett. Streichhölzer. Fließpapier. Alte Lappen oder Werg.

Anleitung. a) Wenn man Schwefelsäure in viel Wasser auflöst, so entwickelt sich eine große Wärmemenge. *Zerfällung in die Ionen* $\dot{H}$ *und* SO_4''. *Hypothese.*

b) Lege in ein Prüfglas einen Schnitzel Zinkblech, fülle das Röhrchen $\sim$ 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 Prüfglas 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 Prüfröhrchen in das Batterieglas zurück. Ändert sich die Größe des Zinkblechs? Welcher Vorgang findet also statt? *Bildung des Zinkions* $\ddot{Z}n$.

$$2\,\dot{H} + Zn = H_2 + \ddot{Z}n.$$

Wie kann man dies nachweisen?

d) Gieße aus dem ersten Prüfglas etwas von der Lösung in das dritte Glas, bringe in dieses einen Streifen Lackmuspapier und tropfe langsam Kalilauge hinein, bis der Ausgleich 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 Prüfglas ein Körnchen reines Zink und gieße etwas verdünnte Schwefelsäure darüber. Bildet sich auch hier ein Gas? Ändert sich die Größe des Zinkkorns?

f) Füge einige Eisenfeilspäne hinzu und schüttle das Gläschen. Was geschieht, wenn die Späne das Zink berühren? Wie kann man also das verschiedene Verhalten von reinem und von unreinem Zink gegen verdünnte Schwefelsäure erklären? *Ortswirkung. Kurzschluß.* Stelle das Prüfröhrchen in das Batterieglas.

g) Bringe in das zweite Prüfglas einen Schnitzel Zinkblech, setze verdünnte Schwefelsäure hinzu und, sobald die chemische Wirkung eingetreten ist, einen Tropfen Quecksilber. Wie wirkt es auf das Zink ein? *Verquicken (Amalgamieren).* Greift die verdünnte Säure das verquickte 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 Trockengestells.

2. Aufgabe. *Wie kann man auf chemischem Weg einen elektrischen Strom erzeugen?*

Geräte. Batterieglas. 2 nicht verquickte Zinkstreifen. 2 verquickte Zinkstreifen. 2 Kupferstreifen. 2 Blechklemmen. 2 Brettchen mit Schlitzen. 2 Ankerbausteine. Tangentenbussole. Spannungsmesser. Strommesser. Leitungsschnüre. Ausschalter oder Stromwender. Stromschwächer. Verdünnte Schwefelsäure. Ammoniak. Trichter. Schmirgelpapier. 2 flache Eßteller. Alkohol in Standglas. Tiegelzange. Wage und Gewichtsatz. Filterpapier. Lappen. Watte. Wischtücher.

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole T (Fig. 150) so auf, daß die Drahtwindungen in dem magnetischen Meridian liegen. Die Stellung der Bussole darf man während der Übung nicht im geringsten ändern.

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 bis 2 cm unter dem Rande mit verdünnter Schwefelsäure und beobachte $\sim$ 1 Minute lang die Oberfläche des Kupfers. Entwickelt sich ein Gas?

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 $\sim$ 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 verquickten 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. 221). Nimm die Zinkstreifen aus den Schlitzen, entferne die Klemmen, spüle die Streifen mit viel Wasser ab, trockne sie und lege sie auf den Teller, worauf sich die Kupferstreifen befinden.

e) Setze die beiden verquickten Zinkstreifen in die Schlitze und führe damit die Versuche (b) und (c) aus. Nimm die beiden verquickten 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 verquickten Zinkstreifen und einen Kupferstreifen und setze sie dann in die Schlitze ein. Beobachte die Oberflächen beider Streifen. Entwickelt sich ein Gas? 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?

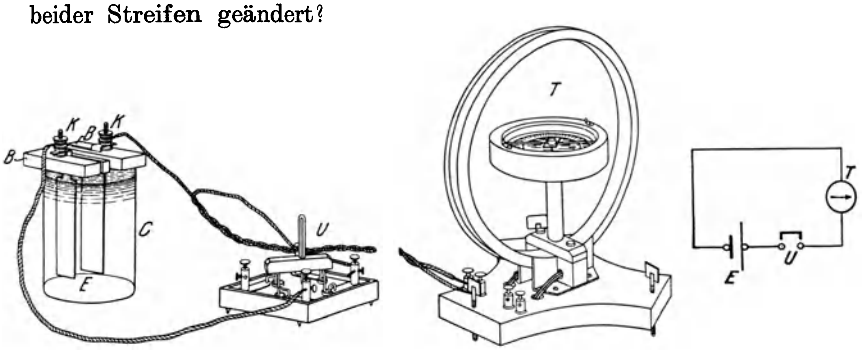

Fig. 150.

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, wo 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 bildet sich diesmal das Gas? 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 verquickten Zinkstreifen nicht unmittelbar auf die Wagschale, sondern auf ein Stück Papier, das zuvor abgeglichen worden ist. Welches Metall hat sich gelöst? Welche Ionen sind entstanden? $\overset{\cdot\cdot}{Zn}$. Woher nimmt das Zink die positive Ladung?

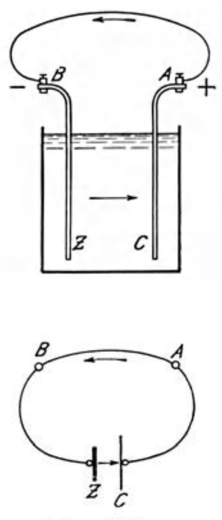

Fig. 151.

Aus dem Leitungsdraht. Woher bekommt dieser die Ladung? Vom Kupferstreifen. Wem entzieht der Kupferstreifen die positive Ladung? Den Wasserstoffionen. *Elektrolyt. Elektroden.* Z (Fig. 151) *Lösungselektrode* oder *Anode. C Ableitungselektrode* oder *Kathode.* In welcher Richtung bewegt sich die Ladung in dem metallischen Verbindungsdraht AB? *Elektrischer Strom.* Welches der beiden Enden A und B hat also das höhere Potential? *Spannung* oder *Potentialdifferenz. Elektromotorische Kraft. A positiver Pol. B negativer Pol. Elektrizitätsmenge. Stärke des Stroms. Voltischer Becher. Element* oder *Kette. Offene* und *geschlossene Kette. Schließungsbogen. Stromkreis.*

h) Ist der Zinkverbrauch in der offenen oder der geschlossenen Kette größer? Berechne den Verlust unter der Annahme, daß in beiden Fällen der Zinkstreifen ursprünglich die Masse 100 gr gehabt habe.

i) Ersetze den verquickten Zinkstreifen durch einen unverquickten und wiederhole damit die Versuche (f) und (g). Vergleiche den Zinkverbrauch in der offenen und der geschlossenen 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? *Innerer Widerstand.*

l) Ändert sich die Stellung der Nadel, wenn man verschiedene Längen eines Manganindrahts von 0,25 mm Dicke in den Stromkreis einschaltet? *Äußerer Widerstand.*

m) Bilde einen Stromkreis aus dem Voltischen Becher, einem Spannungsmesser und einem Ausschalter und lies fünfmal in Zwischen zeiten von je einer halben Minute die Spannung ab.

n) Ersetze in dem Stromkreis den Spannungsmesser durch einen Strommesser 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 verquickten 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.

3. Aufgabe. *Warum ändert sich der Strom des Voltischen Bechers mit der Zeit?*

Geräte. Die Teile eines Voltischen Bechers. Batterieglas. 2 verquickte Zinkstreifen. 2 Kupferstreifen. 2 Brettchen. Holzbrett mit 4 Einschnitten, Blechklemmen. Tangentenbussole. Spannungsmesser. Stromschwächer. Volkmannsche Klammer. Ausschalter. Leitungsschnüre. Reine Schwefelsäure.

Verdünnte Schwefelsäure. Gesättigte Lösung von Kaliumdichromat in Wasser. Lösung von Chromtrioxyd in Wasser. Gesättigte Lösung von Cuprisulfat in Wasser. Ammoniak. Glasstab. Schmirgelpapier. Bunsenbrenner nebst Gasschlauch. 2 flache Teller. Porzellanschale mit Untersatz. Filterpapier. Millimeterpapier.

A. *Schwächen die sich an den Kupferstreifen setzenden Wasserstoffbläschen den Strom?*

Anleitung. a) Stelle die Tangentenbussole so auf, daß die Drahtwindungen in dem 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 reine 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 bildlich dar, wähle die Zeit als Abszisse und tg α als Ordinate.

c) Entferne nach Beendigung der Ablesungen die Gasblasen durch Erschüttern des Bechers oder durch 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 in heftige Bewegung mit einem Glasstab, worüber ein Kautschukschlauch gezogen ist. 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 einem 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 bildlich dar.

g) Wiederhole den Versuch (e), doch gieße vor dem Eintauchen über die Kupferplatte eine Lösung von Kaliumdichromat. Setze dabei eine Porzellanschale unter. Beobachte die Oberfläche des eingetauchten Kupferstreifens und lies 5 Minuten lang jede Minute die Ablenkung der Nadel ab. Untersuche den Kupferstreifen nach dem Herausnehmen. Schreibe die Ergebnisse wie in (b) auf und stelle sie bildlich 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 gesättigte Lösung von Cuprisulfat.

k) Wodurch wird die Schwächung des Stroms 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) mit verdünnter Schwefelsäure und beobachte die Oberfläche des Kupferstreifens. Ersetze, sobald die Nadel für längere 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.

Anleitung. m) Schmirgle die Kupferstreifen C_1 und C_2 glänzend rein, schiebe sie und auch die beiden verquickten Zinkstreifen Z_1 und Z_2 so in das quadratische Holzbrettchen (Fig. 152), 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 Spannungsmesser die elektromotorischen Kräfte der vier Plattenpaare:

$$C_1 \mid Z_1; \quad C_1 \mid Z_2; \quad C_2 \mid Z_2; \quad C_2 \mid Z_1.$$

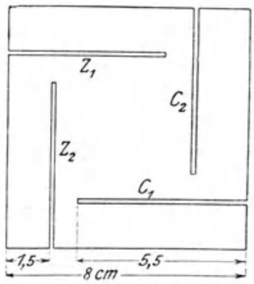

Fig. 152.

n) Bilde einen Stromkreis aus dem Plattenpaar $C_1 \mid Z_1$, dem Widerstand, und dem Ausschalter und lege den Spannungsmesser an die Platten. Ändert sich die elektromotorische Kraft mit der Zeit? Unterbrich den Strom und miß nach 5 Minuten nochmals die elektromotorische Kraft dieses Plattenpaars.

o) Verbinde die Platten $C_1 \mid Z_1$ mit dem Widerstand und miß von neuem mit dem Spannungsmesser 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 Spannungsmesser auch die Spannung zwischen den beiden Zinkstreifen Z_1 und Z_2 und den beiden Kupferstreifen C_1 und C_2.

p) Laß den Spannungsmesser mit den beiden Kupferstreifen in Verbindung und öffne den Hauptstrom. Wie groß ist die Spannung 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. Spüle 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.

4. Aufgabe. *Kann man gleichbleibende Ketten herstellen?*

Geräte. Die festen Teile einer Daniellschen Kette. Batterieglas. Gut verquickter Zinkstreifen. Kupferblech. Tonzelle. Blechklemmen. Leitungsschnüre. Verdünnte Schwefelsäure. Gesättigte Lösung von Cuprisulfat in Wasser. Alkohol. Ammoniak. Tangentenbussole. Stromwender oder Wippe. Spannungsmesser. Stromschwächer. Wage nebst Gewichtsatz. Abgleichschrot. 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 Zinks die Wagschale durch ein abgeglichenes Blatt Papier.

b) Fülle die Tonzelle bis 2 cm unter dem Rande mit verdünnter Schwefelsäure und warte bis auf der Außenwand eine Flüssigkeitshaut sichtbar wird. Stelle dann die Zelle und 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 an dem Orte, den der Lehrer angewiesen hat, die Tangentenbussole so auf, daß ihre Spule in dem magnetischen Meridian liegt. Bilde einen Stromkreis aus der Daniellschen Kette, der Wippe und den vier Windungen der Bussole (Fig. 153). Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Schließe den Strom und schreibe die Zeit auf, wo dies geschieht. 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 weitern 15 Minuten und schreibe die Zeit auf.

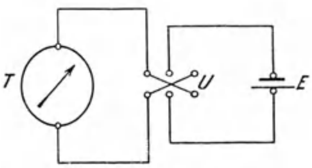

Fig. 153.

Trage diese Ablesungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . Windungen. Daniell Nr. . . .

	Zeit in Min.	Zeigerablesungen				tg α
		Ostspitze	Westspitze	Mittel	Ablenkung α	
Nullpunkt						

d) Nimm die Metallplatten aus ihren Flüssigkeiten, spüle sie mit Wasser behutsam ab, begieße sie mit Alkohol, entzünde diesen und trockne so die Platten. Wäge die Bleche sorgfältig und schütze bei der Wägung des Zinkstreifens die Wagschale durch ein abgeglichenes 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. 154). 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.

f) Wie ändert sich bei dem Versuch (c) die Ablenkung der Nadel mit der Zeit? Stelle die Ergebnisse bildlich 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

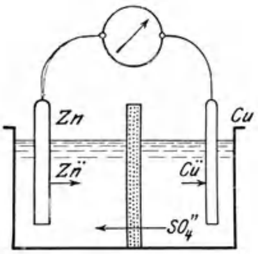

Fig. 154.

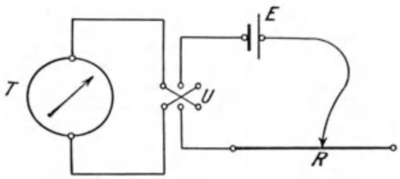

Fig. 155.

einen Stromkreis (Fig. 155). Regle den Widerstand so, daß die Ablenkung der Nadel zwischen 30^0 und 60^0 liegt, und lies 15 Minuten lang am Ende jeder dritten Minute unter Wenden des Stroms 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) bildlich 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 Spannungsmesser 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

Stelle die Ergebnisse bildlich 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 unveränderlich? *Je größer der äußere Widerstand, desto kleiner die*

Stromstärke. Hängt die Unveränderlichkeit der Daniellschen Kette von der Stärke des entnommenen Stroms ab?

l) Nimm die Kette auseinander. Spüle die Tonzelle aus und lege sie in das Gefäß zum Auswässern. Gieße die Flüssigkeiten in die Gefäße, die der Lehrer dafür angewiesen hat. Spüle die Metallplatten mit Wasser tüchtig ab und trockne sie gut. Bringe die Bussole in Ordnung.

5. Aufgabe. *Wie wirkt die Polarisation in einer Leclanché-Kette?*

Geräte. Leclanché oder Gnom oder Trockenelement von SIEMENS & HALSKE, Type T. Tangentenbussole oder Spannungsmesser. Stromwender oder Wippe. 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. 176). 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. . . .

	Zeiger-ablesungen		Mittel	α	tg α	EMK in V
	Ost-spitze	West-spitze				
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.

6. Aufgabe. *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte verschiedener Stromquellen miteinander.*

Geräte. Sammler. Daniell. Leclanché. Gnom. Trockenelement von SIEMENS & HALSKE, Type T. Leitungsschnüre. Tangentenbussole oder Spannungsmesser. Stromwender.

Anleitung. **a)** Stelle die Tangentenbussole so auf, daß ihre Windungen in dem magnetischen Meridian liegen.

b) Verbinde der Reihe nach die verschiedenen Ketten mit dem Stromwender und den 500 Windungen der Bussole, sorge dabei für gute Verbindungen. 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.*

7. Aufgabe. *Wie ändert sich beim Laden und Entladen die Spannung eines Bleisammlers?*

Geräte. Meßsammler 2 Sammler. Spannungsmesser. Strommesser. Stromschwächer. Volkmannsche Klammer. Schwefelsäure. Leitungsschnüre. 2 Ausschalter. Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Lege den Spannungsmesser *V* (Fig. 156) und einen offnen Ausschalter in Nebenschluß zum Meßsammler *M*. Stelle einen Stromkreis her aus 2 hintereinander geschalteten Sammlern *E*, einem Stromschwächer *R*, einem offnen Ausschalter *U*, dem Meßsammler und einem Strommesser *A*, 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 Haupt-

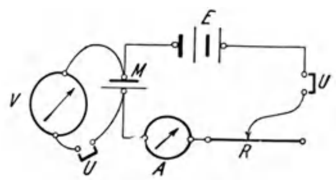

Fig. 156.

strom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke $\sim$ 1 A, aber nicht mehr, beträgt, schließe den Spannungsmesserzweig und lies jede Minute die Spannung so lange ab, bis die Ausschläge sich nicht mehr ändern.

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 $\sim$ 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 bildlich dar, trage dabei die Zeit als Abszisse und die Spannung als Ordinate auf.

II. Chemische Wirkungen des elektrischen Stroms.

8. Aufgabe. *Wie wirkt der elektrische Strom auf einen Elektrolyten ein?*

Geräte. 2 bis 3 Sammler oder 3 bis 4 Trockenelemente oder Starkstrom und Glühlampenwiderstände. Leitungsschnüre und 2 isolierte Drähte. Stromwender. 2 Kohlenstäbe. 2 Volkmannsche Klammern. 2 Verbindungsklemmen mit zwei Löchern. 2 Bechergläser. Gesättigte Lösung von Cuprisulfat. Starke Salpetersäure. Verdünnte Schwefelsäure, Ammoniak. Kaliumjodidstärkelösung. Phenolphtaleïnlösung oder Polprüfpapier. Kochsalzlösung oder Natriumsulfat. Lösung von Kaliumferrocyanid. Quecksilber für Stromwender. Flacher Teller. Schmirgelpapier. Eisendraht. Beißzange, Kork. Stricknadel. Bunsenbrenner nebst Schlauch. Prüfröhrchen. Scheibe aus Fensterglas. Filterpapier.

Anleitung. a) Fülle das Becherglas $\sim$ 3 cm hoch mit gesättigter Cuprisulfatlösung. Befestige an dem einen Ende jedes der beiden Kohlenstäbe eine Volkmannsche Klammer 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, worauf 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 andere 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 sorgfältig längere Zeit die Oberflächen der Kohlen. An welchem Stabe findet die stärkere 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 Klammern nebst Stäben von den Drähten ab, entferne an den Enden der Drähte $\sim$ 5 cm weit die Hülle, schmirgele die Enden glänzend rein, bohre mit einer glühenden Stricknadel in $\sim$ 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 sorgfältig längere Zeit die Oberflächen der Drähte und die untern Teile der Flüssigkeit. Öffne den Strom. Was macht das Kation $H^{\cdot}$? 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 Flüssigkeit in den Abfalleimer und spüle das Becherglas tüchtig mit Wasser aus.

d) Schneide die Enden des Drahts, die in die Schwefelsäure eingetaucht worden waren, ab und schmirgle wieder nach der Entfernung der Hülle die Drahtenden $\sim$ 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 Drahts mit einer Klemme ein Stück Eisendraht, wiederhole den Versuch (d) und mache 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.

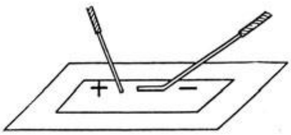

Fig. 157.

g) Setze in einem Prüfglas zu 15 cm³ einer Lösung von Kochsalz oder Natriumsulfat in Wasser einige Tropfen einer Lösung von Phenolphtaleïn in Alkohol. Tauche einen Streifen Filterpapier 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. 157). 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.

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.*

9. Aufgabe. *Wie verhält sich die Kupfermasse, die ein gleichbleibender Strom ausscheidet, zur Niederschlagsdauer?*

Geräte. Kupfercoulombmeter. 2 Sammler. Tangentenbussole. Strommesser. Ausschalter. Stromschwächer. Leitungsschnur für die Bussole. 4 Leitungsschnüre. Cuprisulfatlösung. Alkohol. Wage und Gewichtsatz. Feines Schmirgelpapier. 2 Bechergläser. Tiegelzange. Filterpapier. 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 Filterpapier. Streiche, wenn die Elektroden dünn sind, beim Abschmirgeln stets nach einer Seite. Fasse von nun an während des ganzen Versuchs 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. 158) 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 einen Stromkreis her aus dem Coulombmeter V (Fig. 159), dem

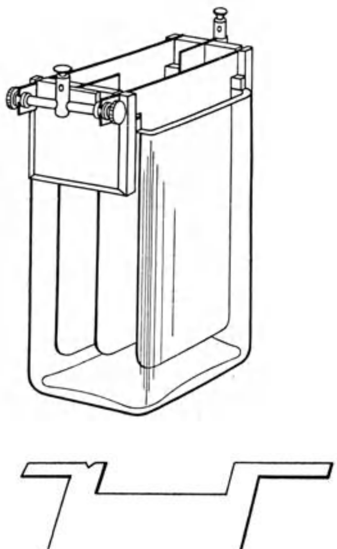

Fig. 158.

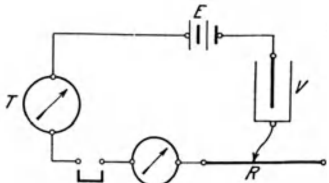

Fig. 159.

Stromschwächer R, dem Strommesser A, dem offnen Ausschalter U, den vier Windungen der Tangentenbussole T und den hintereinander geschalteten Sammlern E. *Den negativen Pol der Batterie muß man mit der Kathode verbinden.*

f) Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß der Strommesser die Stärke 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 sorgfältig die Elektrode. Wie groß ist die Massenzunahme m der Kathode?

i) Wiederhole den Versuch. Halte dieselbe Zeigerspitze wie vorher durch Reglung des Widerstandes genau über derselben Stelle der Teilung wie zuvor, laß aber jetzt den Strom genau 30 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Baue 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 ausgeschiedenen Kupfers zur Niederschlagsdauer?

m) Welche Ionen befinden sich in der Cuprisulfatlösung? *$\overset{\cdot\cdot}{Cu}$ 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 Stroms.*

n) Die Cuprisulfatlösung ist nicht elektrisiert. Wie müssen sich also die Größen der elektrischen Ladungen des Cupriions $\overset{\cdot\cdot}{Cu}$ 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 Silbernitrat? *$Ag^{\cdot}$ 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. × 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 Grammäquivalenten 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 (der Milligrammwert [Massenwert] des Coul. für Kupfer) 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 Stärke zeigt der Strommesser an? Wie groß war die Ablenkung des Zeigers der Tangentenbussole?

r) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Strommessers 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 (p) berechneten Wert überein?

s) Es bezeichne m die Anzahl Milligramm eines Stoffs, die in τ sek von J Ampere ausgeschieden werden, und $\mathfrak{E}$ mg/A sek das elektrochemische Äquivalent des Stoffs. Welche Beziehung besteht zwischen diesen Größen?

10. Aufgabe. *Wie verhält sich die ausgeschiedene Kupfermasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Kupfers?*

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. 160), und regle, während die Hilfskathode darin sitzt, den Widerstand so, daß die Ablenkung des Bussolenzeigers zwischen 30° und 60° liegt. Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen beider Zeigerspitzen ab, wende nach 15 Minuten möglichst rasch den

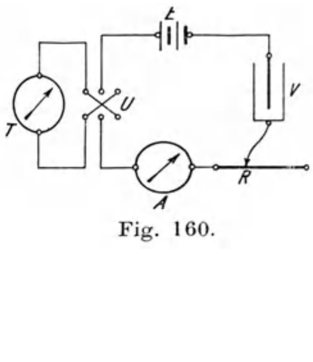

Fig. 160.

Strom in der Bussole und schreibe alle 5 Minuten die Stellungen der beiden Zeigerspitzen auf. Regle den Widerstand fortwährend und halte so die Zeigerspitzen in ihren ursprünglichen Stellungen. Lies ebenso alle 5 Minuten den Strommesser ab.

b) Wiederhole den Versuch, wähle aber 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 in der Bussole. 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 $\mu =$ . . . . .

Schreibe ebenso die Ablenkungen für den zweiten Teil des Versuchs auf.

d) Die Anzahl der Coulomb oder Amperesekunden ist, wenn C die Umrechnungszahl 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 die Umrechnungszahl der Tangentenbussole ist, und berechne die Stromstärken bei beiden Versuchen. Vergleiche sie mit den Angaben des Strommessers.

e) Wie verhalten sich also die ausgeschiedenen Kupfermassen zu den Elektrizitätsmengen, die durch das Coulombmeter hindurchgeflossen sind?

f) Berechne aus beiden Messungen, sowohl aus den Angaben des Strommessers 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?

11. Aufgabe. *Wie groß ist die Umrechnungszahl der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsorts?*

(3 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 10, doch ohne Strommesser.

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° bis 60° abgelenkt wird, und halte während des ganzen Versuchs durch Nachreglen 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 der Bussole. 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 ausgeschiedenen Kupfers die Stromstärke und daraus und aus dem Mittelwert μ von tg α die Umrechnungszahl C.

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 . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s}.
Schluß der Elektrolyse . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s}.
Dauer der Elektrolyse $\tau = \ldots$ [sek].
Elektrochemisches Äquivalent des Kupfers $\mathfrak{E} = 0{,}3294$ [mg/Coul].

Stromstärke $J = \dfrac{m}{\mathfrak{E}\tau}$ [A] $= \ldots$ [A].

Umrechnungszahl $C = \dfrac{J}{\operatorname{tg}\alpha} = \ldots$ [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 an dem Standorte der Bussole die magnetische Horizontalintensität H ist, und berechne nach der Formel $C = 5rH/N\pi$ die Umrechnungszahl.

c) Berechne aus den Werten von r und N und aus dem Werte der Umrechnungszahl, die bei (a) 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?*

Geräte. Knallgascoulombmeter. Eisenfreies Gestell mit 2 Klemmen. 2 Sammler. Tangentenbussole. Strommesser. Ausschalter. Gleitwiderstand. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Flasche mit 2 *n.* Natronlauge. Stechuhr. Becherglas. Trichter.

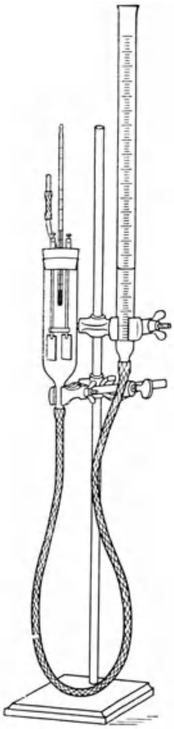

Fig. 161.

Anleitung. a) Fülle bei offner Auslaßröhre das Coulombmeter (Fig. 161) mit so viel Natronlauge, daß sie das Elektrodengefäß füllt und in der Meßröhre bis zum tiefsten Teilstrich reicht. Verschließe die Auslaßröhre. Stelle wie in Aufgabe 9 (e) einen Stromkreis her. Schließe den Strom und ändere 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 Meßröhre so ein, daß der Flüssigkeitsspiegel darin und im Meßgefäß gleich hoch liegt, lies die Wärmestufe ab und schreibe den Stand der Natronlauge in der Meßröhre auf.

b) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt des Stromschlusses auf und halte von nun an, wenn nötig, durch Änderung des Widerstandes den Zeiger des Strommessers und die östliche Zeigerspitze der Bussole genau über den früher abgelesenen Stellen der Teilungen.

c) Unterbrich genau nach 3 Minuten den Strom, klopfe leise gegen das Elektrodengefäß, stelle die Meßröhre so ein, daß die Natronlauge in beiden Behältern gleich hoch steht, und lies die Wärmestufe und den Stand der Natronlauge in der Meßröhre ab.

d) Schließe den Strom, schreibe genau die Zeit auf, halte wie vorher die östliche Zeigerspitze der Bussole durch Änderung des Widerstandes stets genau über derselben Stelle der Teilung und laß den Strom 6 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Lies wie vorher die Wärmestufe und den Stand der Natronlauge in der richtig eingestellten Meßröhre 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 $b = \ldots$ [mm].

Ablenkung der Ostspitze des Bussolenzeigers $\alpha = \ldots{}^0$.

		I	II	III
Beginn der Elektrolyse				
Schluß der Elektrolyse				
Dauer der Elektrolyse in Sekunden				
Flüssigkeitsstand in der Meßröhre	bei Beginn			
	am Schluß			
Verdrängte Flüssigkeitsmenge in cm^3				
Wärmestufe 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 0^0 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?

$$2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + 2\,H \qquad 2\,OH = H_2O + O.$$

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 zwei Grammäquivalente Natrium abscheiden? 1,008 · 2 gr. Wieviel Gramm Sauerstoff entwickeln sich an der Anode, wenn sich dort zwei Grammäquivalente Hydroxyl abscheiden? *8 · 2 gr.* Wieviel Gramm Knallgas entwickeln sich also?

h) Mit einem Grammäquivalent Natrium wandern 96540 Coulomb. Wieviel Coulomb werden also von zwei Grammäquivalenten Natrium mitgeführt? Wieviel Gramm Knallgas scheidet daher ein Coulomb ab? 18,02 gr : (96 540 · 2) = 0,0933 mg. Die Molarformel für Wasser ist $2H_2 + O_2 = 2H_2O$, die Dichte des Wasserstoffs bei 0° und 760 mm ist 0,00090 gr/cm³ und die des Sauerstoffs 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 diesen drei Versuchen abgeschieden? Welche Warmheit 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 Wasserdampfs über einer 2n · NaOH-Lösung ist um ∼ 7% geringer als über reinem Wasser.* Schlage die Spannkraft e des Wasserdampfs nach, die der gemessenen Wärmestufe entspricht, und zieh davon 7% ab. Kohlrausch[11] *704 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? Zieh 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 zueinander die Dauern τ der Elektrolysen, wie die Räume V_0 und wie die Massen m der Knallgasmengen, die sich in diesen Zeiten entwickelt haben?

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 der Strommesser an? Wie groß war die Ablenkung der Tangentenbussole?

l) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Strommessers richtig waren. Wieviel Coulomb sind also in den 9 Minuten hindurchgeflossen? 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?

13. Aufgabe. *Wie verhält sich die ausgeschiedene Knallgasmasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Knallgases?*

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 laß 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. 160). 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 den Strommesser 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. Bau 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 tg α das Mittel μ. Berechne wie bei Aufgabe 10 (d) die Stromstärken in beiden Versuchen und vergleiche sie mit den Angaben des Strommessers.

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 ausgeschiedenen 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 Strommessers, 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?

14. Aufgabe. *Wie groß ist die Umrechnungszahl der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsorts?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 12, doch mit Wippe, aber ohne Strommesser.

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 Wärmestufe 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 cm³ der Flüssigkeit verdrängt worden sind, bestimme genau den Raum und die Warmheit des Gases.

c) Schließe den Strom, doch so, daß er durch die Bussole in der entgegengesetzten Richtung wie vorher fließt, schreibe den genauen Zeitpunkt auf und lies jede Minute die Zeigerstellung ab. Unterbrich den Strom, wenn im ganzen $\sim$ 40 cm³ Flüssigkeit verdrängt worden sind, und bestimme genau den Raum und die Wärmestufe 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 trockene Knallgas bei 0^0 und 760 mm einnehmen würde, und zieh 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 die Umrechnungszahl, 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

$$C = \frac{V_o}{0{,}174\,\mu\tau}.$$

g) Berechne wie in Aufgabe 12 die Werte von C aus den Elektrolysen, vor dem Wenden und nach dem Wenden des Stroms, und bilde aus beiden Ergebnissen den Mittelwert.

h) Verfahre ferner wie in Aufgabe 11 (b) und (c).

III. Wärmewirkungen des elektrischen Stroms.

15. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der hindurchfließenden Elektrizitätsmenge ab?*

Geräte. Kalorimeter mit Heizdraht von 3 Ohm Widerstand. Thermometer. Tangentenbussole oder Strommesser. 3 Sammler. Stromschwächer. Volkmannsche Klammer. Leitungsschnüre. Wippe oder Ausschalter. Petroleum (destilliertes Wasser, Terpentinöl, Anilin, Toluol, Xylol). Meßglas. Wage. Gewichtsatz. Stechuhr. Größerer Behälter mit kaltem Wasser. Eis. Bechergläser.

Anleitung. a) Nimm das eigentliche Kalorimetergefäß (Fig. 162) 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 bis auf $\sim 4^0$ unter die Zimmerwärme ab.

b) Setze das Kalorimeter K in die Schutzhülle, schalte es nach Fig. 163 in einen Stromkreis, der aus 3 Sammlern E, einem Stromschwächer R, den 4 Windungen der Tangentenbussole T (Strommesser) 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 Wärmestufe ab.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, rühre öfters die Flüssigkeit vorsichtig um und lies jede Minute das

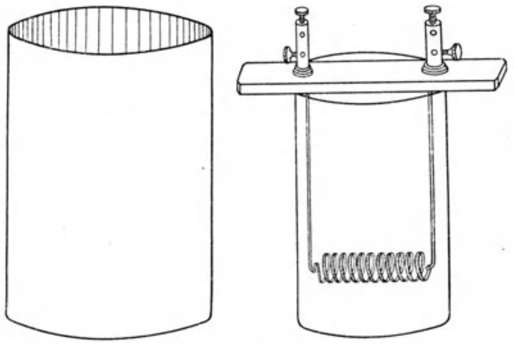

Fig. 162.

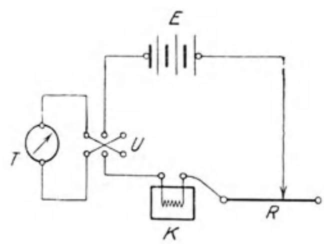

Fig. 163.

Thermometer und 15 sek nachher die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, vergiß bei den Ablesungen nicht, gegen die Meßgeräte zu klopfen, wende nach 5 Minuten den Strom und öffne ihn nach weitern 5 Minuten. Schreibe genau den Zeitpunkt auf, lies die Endwarmheit 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 Strommesser 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 . . Widerstand des Kalorimeters . . . Ohm. Thermometer Nr. . . . Wasserwert des Thermometers . . . Tangentenbussole Nr. . . .

Umrechnungszahl der Bussole $C_4 = \ldots$ [A].
Masse des Kalorimeters = . . . [gr].
Masse der Kalorimeterflüssigkeit = . . . [gr].
Spezifische Wärme der Flüssigkeit = . . .
Wasserwert von Kalorimeter, Flüssigkeit und Thermometer = . . . [gr].
Anzahl der Sammler . . .

	Zeit	Wärmestufe 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].

Wärmestufe 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. 238).

g) Stelle die Änderung der Wärmestufe (Ordinate) mit der Zeit (Abszisse) bildlich 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 Meßglases oder eines Gefäßes, das auf einer Wage abgeglichen worden ist, das Thermometer so tief ein, wie es in die Kalorimeterflüssigkeit eintauchte, und bestimme so den Raum (V cm^3) dieses Thermometerstücks. Der Wasserwert des Thermometers ist dann 0,46 V.

k) Berechne für beide Versuche jedesmal aus dem Wasserwert von Flüssigkeit, Kalorimeter und Thermometer und aus der Warmheitssteigerung 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.

16. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Stromstärke ab?*

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 8^0 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 60^0 abgelenkt wird (der Strommesser 1,5 A zeigt). Öffne den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um, lies die Wärmestufe 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 Sekunden später die Stellungen der beiden Zeigerspitzen nach vorherigem Klopfen gegen die Meßgeräte sorgfältig ab. Wende nach 5 Minuten den Strom und unterbrich ihn nach weitern 5 Minuten. Halte während der 10 Minuten, wenn nötig durch Änderung des Widerstandes, die Ostspitze des Bussolenzeigers auf 60^0 und, wenn ein Strommesser 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]

Wärmestufe			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 $Q/J^2 W\tau$.

17. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von dem Widerstande des Drahts ab?*

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 und die Heizdrähte auf $\sim$ 6° unter die Zimmerwärme ab und laß den Strom 20 Minuten durch die Kalorimeter fließen. Schreibe in die erste Tafel die Wärmestufen 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			

Wärmestufe			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.

18. Aufgabe. *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Spannung zwischen den Drahtenden ab?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 17, dazu noch ein Spannungsmesser, ein Glimmerwiderstand von 1000 Ohm und eine zweite Wippe.

Anleitung. **a)** Schalte wie in Aufgabe 15, verbinde den Spannungsmesser und, falls er einen zu geringen Widerstand hat, den Widerstand W von 1000 Ohm und die beiden Kalorimeter wie in der Fig. 164 mit der Wippe U_2.

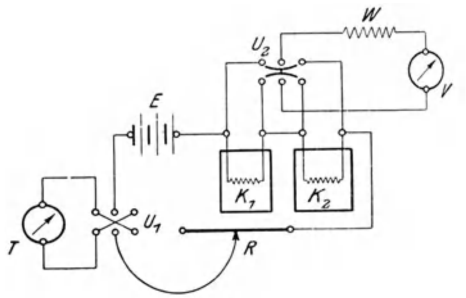

Fig. 164.

b) Verfahre wie bei Aufgabe 17 (a) und lies 15 Sekunden vor jeder Minute die Spannung zunächst an dem ersten Heizdraht ab und dann nach raschem Umlegen der Wippe an dem zweiten.

c) Gib den beiden Tafeln folgende Gestalt:

	Zeit	Wärmestufe t		Zeigerablesungen			α	tg α	Spannungen	
		1. Kalorimeter	2. Kalorimeter	Ostspitze	Westspitze	Mittel			am 1. Kalorimeter P_1 V	am 2. Kalorimeter P_2 V
Nullpunkt										
⋮										
							Mittel $\mu = \ldots$ $J = C\mu = \ldots$ [A]		Mittel $P_1 = \ldots$ [V]	Mittel $P_2 = \ldots$ [V]

Zeitpunkt		Versuchsdauer	Mittlere Stromstärke	Elektrizitätsmenge	Wärmestufe		
Beginn	Schluß	τ sek	J A	$q = J\tau$ [Coul]	Anfangs-	End-	Steigerung

Erzeugte Wärmemenge Q grkal	Widerstand W	Mittlere Klemmenspannung P V	$\frac{Q_1}{Q_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{Q}{Pq}$	$\frac{Q}{J^2 W\tau}$

d) Berechne, falls vor den Spannungsmesser der Widerstand 1000 Ohm geschaltet worden ist, aus den Ausschlägen des Spannungsmessers die Spannungen zwischen den Enden der Heizdrähte in Volt.

e) Vergleiche die Verhältnisse der Stromwärmen Q_1/Q_2, der Spannungen P_1/P_2 und der Widerstände W_1/W_2 miteinander. Welche Sätze ergeben sich?

f) Berechne die Wärmemengen Q/P, die bei der Spannung 1 Volt zwischen den Klemmen erzeugt würden, und vergleiche diese Werte miteinander.

g) Vergleiche die Größen Q/Pq 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/Pq mit den Werten von $Q/J^2 w\tau$. Welche Beziehung ergibt sich zwischen P, J und W, wenn man beachtet, daß $q = J\tau$ ist? *Ohmsches Gesetz.*

19. Aufgabe. *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

1. Verfahren.

Geräte. Wie bei Aufgabe 18, doch ohne das Kalorimeter mit dem Heizdraht von 4 Ohm, außerdem Strommesser statt der Tangentenbussole und zwei Ausschalter statt der beiden Wippen.

Anleitung. a) Wäge das Kalorimeter ohne den Einsatz, fülle es mit 400 cm³ der Flüssigkeit, wäge wiederum und kühle sie und den Heizdraht auf $\sim 5^0$ unter die Zimmerwärme ab.

b) Bilde einen Stromkreis aus dem Heizdraht K (Fig. 165), einem Strommesser A, einem Stromschwächer R, drei Sammlern E und einem Ausschalter U_1. Verbinde einen Spannungsmesser V, einen Widerstand W von 1000 Ohm und einen zweiten Ausschalter U_2 mit den Enden des Heizdrahts. Schließe den Haupt- und den Nebenstrom, sieh nach, ob die Meßgeräte richtig ausschlagen und das Thermometer gleichförmig steigt, und regle den Widerstand so, daß die Stromstärke ~ 1 A wird.

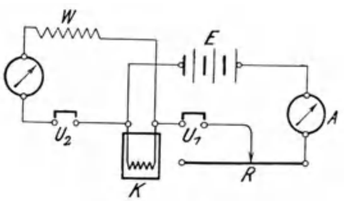

Fig. 165.

Unterbrich den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um und lies die Wärmstufe ab.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, lies jede Minute das Thermometer ab, den Spannungsmesser 15 Sekunden vor und den Strommesser 15 Sekunden nach jeder Minute und vergiß nicht, die Flüssigkeit gut umzurühren. Fahre damit fort, bis die Wärmestufe 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 P und die mittlere Stromstärke J oder, wenn die Unterschiede groß sind, die einzelnen Produkte PJ und daraus den Mittelwert.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Kalorimeter Nr. . . .
Widerstand des Heizdrahts $W = \ldots$ [Ohm].
Wasserwert des Kalorimeters $= \ldots$
Thermometer Nr. . . .
Wasserwert des Thermometers $= \ldots$
Strommesser Nr. . . .
Nullpunkt des Strommessers . . .
Spannungsmesser Nr. . . .
Nullpunkt des Spannungmessers . . .
Widerstand des Voltmeters $= \ldots$ Ohm.
Umrechnungszahl des Spannungsmessers 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 $= \ldots$
Anfangswarmheit $= \ldots{}^0$ C.
Endwarmheit $= \ldots{}^0$ C.
Warmheitssteigerung $= \ldots{}^0$ C.
Erzeugte Wärmemenge $Q = \ldots$ [grkal].
Mittlere Klemmenspannung $P = \ldots$ [V].
Mittlere Stromstärke $J = \ldots$ [A].
Beginn des Stroms $\ldots^h \ldots^m \ldots^s$.
Schluß des Stroms $\ldots^h \ldots^m \ldots^s$.
Stromdauer $\tau = \ldots$ [sek].
Stromarbeit $A = PJ\tau = \ldots$ [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.

Geräte. Dünnwandiges Glasgefäß. Glühlampe mit isolierter Zuleitung. Strommesser. Spannungsmesser. Lösung von Ferrochlorid (oder Ferrosulfat oder Ferroammoniumsulfat). 2 Ausschalter. Verbindungsdrähte. Stechuhr. Gestell.

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° unter die Zimmerwärme ab.

g) Spanne die Glühlampe L (Fig. 166) in ein Gestell ein, tauche sie in die Flüssigkeit und verbinde ihre Drähte mit einem Strommesser A, einem Ausschalter U_1 und der Starkstromleitung. Lege den Spannungsmesser V nebst Ausschalter U_2 zur Lampe in Nebenschluß.

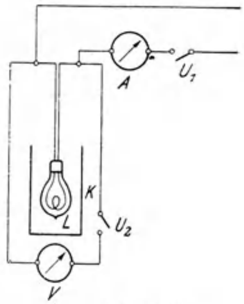

Fig. 166.

h) Bestimme die Wärmestufe der Flüssigkeit und schließe den Strom in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird. Lies jede halbe Minute den Strommesser, den Spannungsmesser und das Thermometer ab. Rühre fortwährend die Flüssigkeit mit dem Thermometer fleißig um. Öffne den Strom, sobald die Wärmestufe um $\sim$ 10° gestiegen ist, in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird.

i) Verfahre wie in (d) und (e). Frage den Lehrer, wie groß die spezifische Wärme der Flüssigkeit ist.

IV. Ohmsches Gesetz.

20. Aufgabe. *Wie hängt die Stärke des Stroms, den eine Kette liefert, von dem Leiter ab, den der Strom durchfließt?*

Geräte. Daniell. Tangentenbussole. Stromwender, 7 Spulen aus Manganindraht. 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. 227) zusammen und schließe sie 5 Minuten lang durch einen Draht von $\sim$ 10 Ohm Widerstand. Stelle die Tangentenbussole T (Fig. 167) in der richtigen Weise (vgl. Aufg. 43) auf und bilde einen Stromkreis aus ihren 50 Windungen, der Spule W von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser, der Kette E und dem offenen Stromwender U. Fasse dabei stets die Spule 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 sorgfältig mit der Drahtlehre die Dicke des Drahts.

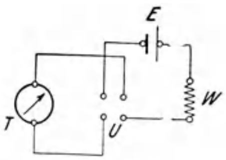

Fig. 167.

Trage die Ergebnisse der Messungen in folgende Tafel ein:

Tafel I.

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl 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 andere 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) bildlich dar und nimm dabei die Drahtlängen l als Abszissen und die Werte von tg α oder von J als Ordinaten. Setze bei einer zweiten Darstellung $x = 1/l$ und $y = J$.

f) Nimm aus je zwei zusammengehörigen Werten der Stromstärken das Mittel und sieh es als die wahre Stromstärke an, die der zugehörigen Drahtlänge entspricht. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel und in die bildliche Darstellung ein.

Tafel II.

Länge l cm	Stromstärke in A		
	J_1	J_2	Mittel $J = {}^1/_2 (J_1 + J_2)$

Schwächung des Stroms. Widerstand. Ohm. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Länge und dem Widerstand eines Drahts?

g) Entnimm aus der bildlichen Darstellung die Stromstärken, die eine 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 Drahts. Berechne die Querschnitte dieses Drahts und des gleich langen Drahts 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 mm^2			

Welche Beziehung besteht zwischen den Querschnitten der gleich langen Manganindrähte und den zugehörigen Stromstärken?

l) Entnimm aus der bildlichen Darstellung die Länge des Manganindrahts 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 cm lang und 0,35 mm dick und 1 m lang sind? Wie groß ist der Widerstand eines Manganindrahts von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt? Welchen Widerstand hat ein Manganindraht von 1 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt?

o) Bringe die Tangentenbussole in Ordnung, nimm die Daniell-sche Kette auseinander, spüle die Tonzelle tüchtig aus und wässere sie.

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?*

(Handbuch S. 397.)

22. Aufgabe. *Erfährt der elektrische Strom auch in der Kette einen Widerstand?*

Geräte. Daniell, wie bei Aufgabe 4. Kupferblechstreifen oder Kupferdraht. Tangentenbussole. Stromwender. Glasschale. Leitungsschnur für die Tangentenbnssole. Kurze Leitungsschnüre. Teller. Gesättigte Cuprisulfatlösung.

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 und fülle diese mit der gesättigten Cuprisulfatlösung. Verbinde diese Kette mit dem offnen Stromwender und den vier Windungen der Tangentenbussole zu einem Stromkreis.

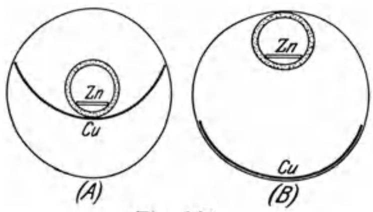

Fig. 168.

b) Rücke die Tonzelle an die Glaswand und nähere, so weit es geht, das Kupferblech und den Zinkstreifen einander (Fig. 168 *A*). Schließe den Strom und lies unter Wenden des Stroms 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. . . . Umrechnungszahl $C_4 = \ldots$ [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 gemessene Ablenkung mit α_3.

e) Frage den Lehrer, wie groß die Umrechnungszahl 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 innere Widerstand von der Größe der Platten ab?

f) Laß die Tonzelle in Berührung mit der Glaswand und rücke, so weit es geht, die Metallplatten auseinander (Fig. 168 *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 wässere sie.

23. Aufgabe. *Wie hängt die Stromstärke einer unveränderlichen Stromquelle vom äußern Widerstand ab?*

Geräte. Tangentenbussole. Stromwender. 3 Sammler, Widerstandsatz oder 3 Spulen von 50, 100 und 150 Ohm. Leitungsschnur für die Bussole. Kurze dicke Leitungsschnüre. Quecksilber. Millimeterpapier.

Anleitung. **a)** Schalte die Sammler E (Fig. 169) hintereinander und in den äußern Stromkreis die 50 Windungen der Tangentenbussole T, den offnen Stromwender U und den Widerstandsatz R, bei dem alle Schrauben 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.

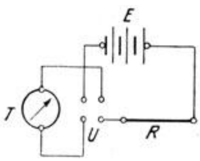

Fig. 169.

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. . . . Umrechnungszahl 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 bildlich dar und nimm dabei W_a als Abszisse und $1/J$ als Ordinate.

24. Aufgabe. *Wie hängt die Stromstärke einer gleichbleibenden Stromquelle von dem innern Widerstand ab? Wie groß ist dieser innere Widerstand?*

Geräte. 3 Daniell. Tangentenbussole. Widerstandsatz. 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. 169). 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 die Umrechnungszahl C_{50} und der Widerstand γ_{50} der 50 Windungen der Tangentenbussole sind, 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. . . . Umrechnungszahl 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	Ostspitze	Westspitze	Mittel							

d) Wir wissen, daß die Stromstärke abnimmt, wenn der äußere 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 innere Widerstand W_i zu berücksichtigen, also zu prüfen, ob vielleicht die Produkte $J(W_i + W_a)$ einen festen Wert, sagen wir E, haben, 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 Mittelwerte 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. 231). Welche physikalische Bedeutung hat die Größe E?

e) Stelle die Ergebnisse der Messungen und Rechnungen bildlich 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 $x = - W_i$. Zieh durch je zwei Punkte der bildlichen Darstellung eine Gerade, bestimme deren Abschnitt auf der x-Achse, nimm aus den Abschnitten 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.

25. Aufgabe. *Welche physikalische Bedeutung hat das stets gleiche Produkt* $J\,(W_i + W_a)$*?*

Geräte. Spannungsmesser. Strommesser. Sammler. Gnomkette. Trockenkette. Ausschalter. Widerstandsatz oder Spulen von 1 und 5 Ohm. Kurze Verbindungsschnüre.

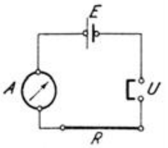

Fig. 170.

Anleitung. a) Verbinde der Reihe nach die Pole jeder Kette mit dem Spannungsmesser und bestimme die elektromotorische Kraft einer jeden.

b) Schalte der Reihe nach jede Kette E (Fig. 170) 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 $\gamma = \ldots$ [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 $J(W_i + W_a)$ einen festen Wert E hat. 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 gemessenen 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. 224). Aus $E = J(W_i + W_a)$ folgt $E - JW_i = JW_a = P$. *Klemmenspannung.*

26. Aufgabe. *Bestimme den innern Widerstand und die elektromotorische Kraft einer Daniellschen Kette.*

(Handbuch S. 405.)

27. Aufgabe. *Wie hängt bei gleichbleibendem Gesamtwiderstande die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle ab?*

(Handbuch S. 406.)

28. Aufgabe. *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte zweier Ketten nach dem Verfahren der gleichen Ablenkung.*

(Handbuch S. 407.)

29. Aufgabe. *Wie muß man gleichzeitig die elektromotorische Kraft und den Widerstand ändern, um eine gleichbleibende Stromstärke zu erzielen?*

(Handbuch S. 408.)

30. Aufgabe. *Welche Schaltung der Ketten liefert bei gegebenem äußerm Widerstande den stärksten Strom?*

Geräte. 2 gleiche Daniell. Tangentenbussole. Stromwender. Spannungsmesser. Widerstandsatz bis 20 Ohm. Leitungsschnur für die Bussole. Kurze Leitungsschnüre. Quecksilber.

Anleitung. a) Miß den innern Widerstand und die elektromotorische Kraft jeder einzelnen Kette und dann beider Ketten, wenn sie hintereinander, und 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. 171 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.

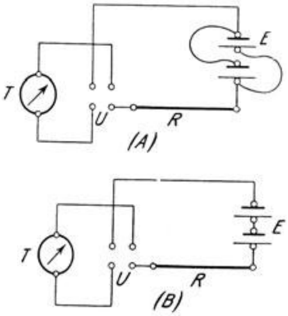

Fig. 171.

d) Schalte zunächst keine Spule des Widerstandsatzes ein und bestimme unter Wendung des Stroms 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 beide Ketten hintereinander (Fig. 171 B) und wiederhole die Versuche (d) und (e).

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahlen $C_{50} = \ldots$ [A], $C_4 = \ldots$ [A]. Bussolenwiderstände $\gamma_{50} = \ldots$ [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 Widerstande den stärksten Strom?

l) Es bezeichne Z 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

$$E = J_n\left(\frac{W_i}{Z} + W_a\right) \quad \text{und} \quad ZE = J_h(ZW_i + W_a)$$

die Stromstärken J_n und J_h und vergleiche sie mit den Ergebnissen der Messungen.

m) Berechne mit den Formeln

$$E - J_n\frac{W_i}{Z} = J_n W_a \quad \text{und} \quad Z(E - J_h W_i) = J_h W_a$$

die Klemmenspannungen.

31. Aufgabe. *Wie hängt die Spannung zwischen zwei Punkten eines Drahts von der Stärke des Stroms ab, der durch den Draht fließt?*

Geräte. Gefälldraht. 3 Gleitschneiden. Tangentenbussole oder Strommesser. Spannungsmesser. Sammler. Stromwender. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Millimeterpapier. Schmirgelpapier.

Anleitung. **a)** Schalte einen Sammler E (Fig. 172) in Reihe mit einem geöffneten Stromwender U, den vier Windungen der Tangentenbussole T oder einem Strommesser und einem Meter des Gefälldrahts MN (Fig. 173). Prüfe, ob alle Verbindungen gut sind. Reinige die beweglichen Gleitschneiden, setze sie bei P und Q in 20 cm Abstand auf den Gefälldraht 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 Meßwerkzeug fließt.

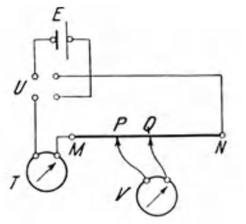

Fig. 172.

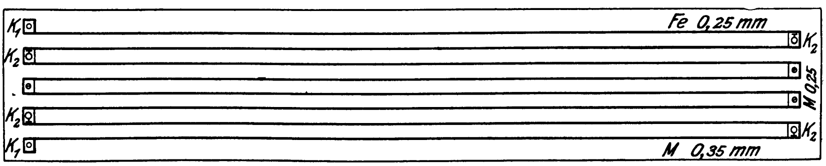

Fig. 173.

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 längere oder kürzere Drahtstücke MN des Gefälldrahts ein und ändere so die Stärke (0,15 bis 0,25 A) des Stroms, der durch das Drahtstück PQ fließt. Mache am Spannungsmesser und der Bussole die Ablesungen genau so wie vorher.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Gefälldraht Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole $C_4 = \ldots$ [A]. Spannungsmesser Nr. . . . $PQ = \ldots$ cm.

Versuch	Stromrichtung	Spannung		Bussolenablesungen			α	tg α	J A	P/J
		P V	Mittel	Ostspitze	Westspitze	Mittel				
	+									
	−									

e) Vergleiche die Werte von P/J miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Stärke des Stroms, 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 bildlich dar und wähle dabei die Stromstärke J als Abszisse und die Spannung P als Ordinate.

32. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines Drahts von gleichförmigem Querschnitt von der Länge ab?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 31.

Anleitung. a) Mache die Schaltung wie bei Aufgabe 31.

b) Stelle auf den Draht MN (Fig. 172) 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 (0,15—0,25 A).

c) Warte eine bis zwei Minuten, bis die Drähte, die der Strom erwärmt, eine feste Wärmestufe erreicht 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. . . . Umrechnungszahl der Bussole $C_4 = \ldots$ [A].
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .
Zeitpunkt der ersten Ablesung . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s} Stromstärke $J = \ldots$ [A].
Zeitpunkt der letzten Ablesung . . .^{h} . . .^{m} . . .^{s} Stromstärke $J = \ldots$ [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 Drahts.

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 bildlich 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 Drahtstücks 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?

33. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines gleichförmigen Drahts vom Querschnitt ab?*

Geräte. Wie bei Aufgabe 31, 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 das Stück des Gefälldrahts, das 0,35 mm Durchmesser hat, und wiederhole die Messungen.

d) Miß g e n a u die Dicke jedes Drahts 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. . . . Umrechnungszahl der Bussole $C_4 = \dots$ [A].
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .

Ablenkung der Bussolennadel $\left\{\begin{matrix} + \dots \\ - \dots \end{matrix}\right\} \dots J = \dots$ [A].

Stoff des Drahts . . .

Ablesung P am Spannungsmesser			Durchmesser des Drahts d mm	Querschnitt des Drahts q mm²	Pq
Sinn	Ausschlag	Mittel			
+					
−					

e) Wie verhalten sich die Spannungen zu den Querschnitten, die Spannungen zu den Widerständen und also die Widerstände zu den Querschnitten?

34. Aufgabe. *Wie verhält sich der spezifische Widerstand des Eisens zu dem des Manganins?*

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 das Eisenstück des Gefälldrahts 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. 172, S. 261) die Spannung zwischen zwei Stellen jedes Drahts, 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. . . . Umrechnungszahl der Bussole $C_4 = \dots$ [A].

Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . . Stromstärke J beim Beginn . . . A und am Schluß . . . A.

Stoff des Drahts	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.

Geräte. 2 Daniell oder 1 bis 2 Sammler. 2 Spulen, die eine von ~ 5, die andere von ~ 10 Ohm. 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 dem Schaltbilde (Fig. 174) 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.

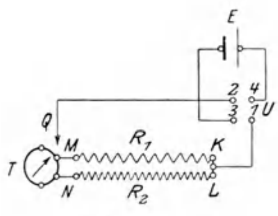

Fig. 174.

c) Verbinde das freie Ende Q des Drahts mit der Klemme N und schließe den Strom. In welchen Stromzweig ist nun die Bussole eingeschaltet? Lies unter Wenden des Stroms 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. . . . Umrechnungszahl 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 ausdrücken?

h) Löse den an M sitzenden Draht von der Klemme der Bussole und verbinde ihn mit N. Befestige das Drahtende Q an der so frei gemachten Klemme oder an dem 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.

Geräte. 3 Strommesser. 2 Widerstandsätze. 1 Sammler. 2 Verbindungsklemmen mit 3 Durchbohrungen. Gleitwiderstand. Volkmannsche Klammer. Ausschalter. Kurze Verbindungsschnüre.

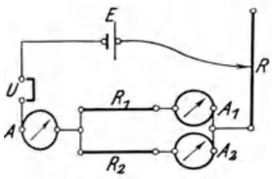

Fig. 175.

Anleitung. k) Stelle nach dem Schaltbilde (Fig. 175) 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				
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	$W_1 = R_1 + \gamma_1$	$W_2 = R_2 + \gamma_2$	$\frac{J_1 W_1}{J_2 W_2}$

n) Beantworte die Fragen (g) und (i). Bilde das Mittel aus den Werten von $J_1 W_1 J_2 W_2$.

3. Verfahren.

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.

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. 176).

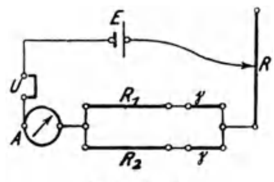

Fig. 176.

p) Miß die Stärke J des Stammstroms. 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. 177). Führe die

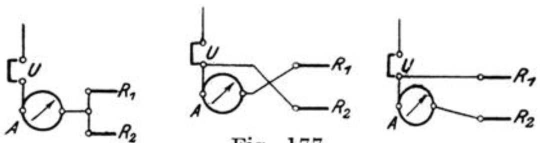

Fig. 177.

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.*

Geräte. 1 Daniell. Tangentenbussole. 2 Spulen aus Manganindraht. 2 Stromunterbrecher, davon einer mit 2 Quecksilbernäpfen (oder Wippe). Widerstandsatz. Ohmdraht. Verbindungsklemmen. 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.

37. Aufgabe. *Gibt es auf den beiden Zweigen einer Stromverzweigung Stellen, zwischen denen keine Spannung besteht? Wo liegen diese Stellen?*

Geräte. WHEATSTONEsche Brücke. Blanker Kupferdraht. 2 Gleitschneiden. Stromprüfer. Stromwender. Unterbrecher mit Quecksilbernäpfen. Trocken- oder Gnomkette. Gleitwiderstand. VOLKMANNsche Klammer. Leitungsschnüre.

Anleitung. **a)** Spanne zwischen den Klemmen M' und N' (Fig. 178) 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 geschlossenen 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 durch den Kupferdraht $M'N'$ den Strom einer Trockenkette E, die mit einem Stromwender U_1 und einem veränderlichen Widerstand R in Reihe geschaltet ist. Wie verzweigt sich der Strom? Der Widerstand des Kupferdrahts ist kleiner als der des Meßdrahts MN. Durch welchen Draht fließt der stärkere Strom? Wie groß sind die Spannungen zwischen M und M' und zwischen N und N'? Sind die Spannungen zwischen M und N und zwischen M' und N' verschieden?

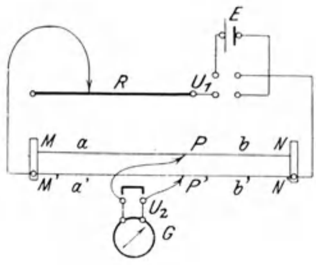

Fig. 178.

c) Halte die eine Schneide auf die Stelle P des Brückendrahts und berühre dann mit der andern Schneide verschiedene Stellen des Kupferdrahts, 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 mit a und b die Teile MP und PN, in die der Meßdraht MN durch die Schneidenstelle zerlegt wird, und mit a' und b' die entsprechenden Teile $M'P'$ und $P'N'$ des Kupferdrahts. Miß die Strecken a, b, a' und b'.

d) Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

e) Ändere die Stromstärke durch Verschieben der VOLKMANNschen Klammer 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. . . .
$MN = . . .$ cm. $M'N' = . . .$ 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?

38. Aufgabe. *Wie kann man mit der Wheatstoneschen Brücke Widerstände vergleichen und messen?*

Geräte. Wheatstonesche Brücke. Stromprüfer. Trocken- oder Gnomkette. 7 Spulen aus Manganindraht. 1 Spule aus isoliertem Kupferdraht. Widerstandsatz 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. 179) von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser an die Klemmen F und H und die andere 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. Sieh nach, ob alle Verbindungen gut und sicher sind.

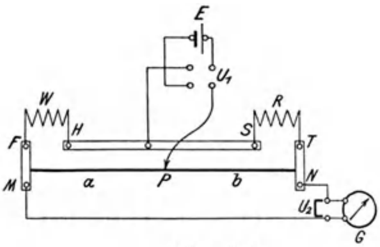

Fig. 179.

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 mit der Schneide ungefähr die Stelle des Drahts, bei deren Berührung kein merklicher Ausschlag der Nadel erfolgt. Berühre jedesmal den Draht nur kurze Zeit. Nimm nun den Bügel aus dem Unterbrecher U_2, der seither den Stromprüfer kurz geschlossen hat, und suche möglichst genau die Stelle des Meßdrahts, 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 Meßdrahts $a + b = \ldots$ [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 Drahts 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 Widerstande der Spule aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,35 mm Durchmesser.*

g) Verfahre wie bei Aufgabe A. Miß sorgfältig die Durchmesser beider Drähte. Wie hängt der Widerstand eines Drahts 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 Meßdrahts 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 Meßdrahts $a + b = \ldots$ [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 Stücks, das 1 m lang ist, und daraus den Widerstand eines Kupferdrahts, 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

39. Aufgabe. *Wie hängt der Widerstand eines Drahts von seiner Warmheit ab?*

Geräte. Trocken- oder Gnomkette. WHEATSTONEsche Brücke. Stromprüfer. Widerstandspule von 2 Ohm oder Widerstandsatz. Wärmespule. Weißblechgefäß für die Spule. Wasserbad. Thermometer. Asbestplatte. Dreifuß. Argandbrenner oder Weingeistlampe. Kurze Leitungsschnüre. Steinöl.

Anleitung. a) Setze die Wärmespule (Fig. 180) in das Blechgefäß mit Steinöl und diesen Behälter in ein Wasserbad, das auf einem Dreifuß mit Asbestplatte steht, und erwärme mit einem Argandbrenner oder einer Weingeistlampe.

b) Schalte mit kurzen Leitungsschnüren den Widerstandsatz an die Klemmen S und T (Fig. 179) und die Wärmespule an die Klemmen F und H der Brücke.

c) Miß nach tüchtigem Umrühren die Warmheit des Steinöls und den Widerstand der Spule.

d) Erwärme nun langsam das Bad, steigere die Warmheit des Wassers auf $\sim 20^0$, drehe die Flamme klein, rühre gut um, lies die Wärmestufe ab, miß den Widerstand der Spule und lies wieder die Warmheit ab.

Trage die Mittelwarmheit und die Widerstände in nachfolgende Tafel ein:

Brücke Nr. . . . . Widerstandsatz Nr. . . . . Stromprüfer Nr. . . . . Wärmespule Nr. . . . . Vergleichwiderstand $R = \ldots$ [Ohm].

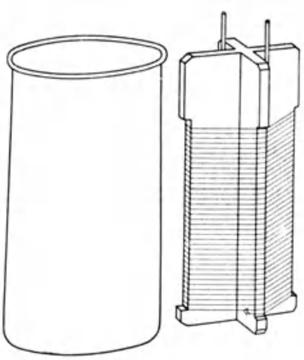

Fig. 180.

Beim Erwärmen			Beim Abkühlen		
Wärmestufe in C⁰	Stellung der Schneide *a* mm	Widerstand *W* Ohm	Wärmestufe in C⁰	Stellung der Schneide *a* mm	Widerstand *W* Ohm

e) Bestimme ebenso den Widerstand der Spule bei 30, 40, 50 und 60^0 C, laß abkühlen und wiederhole die Messungen bei Wärmestufen, die jenen möglichst naheliegen.

f) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle dabei die Wärmestufe als Abszisse und den Widerstand als Ordinate. $x = t$, $y = W$. Wo schneidet die Kurve die x-Achse? Bei welcher Wärmestufe hätte also der Draht keinen Widerstand?

g) Wie ändert sich nach der bildlichen Darstellung der Widerstand mit der Warmheit? Sind W_0, W_1, W_2 die Widerstände bei den Wärmestufen o, t_1, t_2 und ist α das Erwärmungsmaß des Drahtwiderstandes, so ist

$$W_1 = W_0 (1 + \alpha t_1) \qquad W_2 = W_0 (1 + \alpha t_2),$$

also

$$\alpha = \frac{W_2 - W_1}{W_1 t_2 - W_2 t_1} = \frac{\dfrac{1}{W_1} - \dfrac{1}{W_2}}{\dfrac{t_2}{W_2} - \dfrac{t_1}{W_1}}$$

Nimm aus den beiden zusammengehörigen Wärmestufen 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 Wärmestufe t_1 °C	Mittlerer Widerstand W_1	$\frac{1}{W_1}$	$\frac{t_1}{W_1}$	Mittlere Wärmestufe t_2 °C	Mittlerer Widerstand W_2	$\frac{1}{W_2}$	$\frac{t_2}{W_2}$	α
(15)				(40)				
(20)				(50)				
(30)				(60)				
						Mittel $\alpha = \ldots\ldots$		

40. Aufgabe. *Wie groß ist die elektromotorische Kraft einer Trockenkette?*

(Handbuch S. 428.)

V. Magnetisches Feld des elektrischen Stroms.

41. Aufgabe. *Welche Beziehungen bestehen zwischen der Richtung eines elektrischen Stroms und den Kraftlinien seines magnetischen Feldes?*

Geräte. 1 Sammler oder Tauchelement, oder Daniell. Gleitwiderstand. Stromwender oder Stromschlüssel, der selbsttätig den Strom öffnet. Kleine Bussole. 2,5 m isolierter Leitungsdraht. Quecksilber für den Stromwender. Papier. Starke Pappe. Stecknadeln. Holzstab. Isolierband. Retortenständer aus Holz. Reißbrett. Hakenzwecken.

Anleitung. a) Befestige auf dem Tisch mit zwei Stecknadeln das Blatt Papier. Zieh 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. 181).

b) Bilde einen Stromkreis aus dem Sammler E (Fig. 182), dem Widerstand R, dem offnen Stromwender U und dem 2,5 m langen Draht. Befestige mit Isolierband oder Bindfaden eine 15 cm lange gerade Strecke des Drahts an dem Holzstabe H (Fig. 183). 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 N o r d p o l der Nadel abgelenkt? Regle den Widerstand so, daß die Nadel um $\sim$ 45° abgelenkt wird. Halte die ausgestreckte rechte Hand so an den Draht, daß die Stromrichtung 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 Damen aus. Daumen und abgelenkte Nadel weisen nach derselben Seite. Unterbrich den Strom. Wohin weist jetzt der Nordpol der Nadel? *Daumenregel der rechten Hand.* Mache eine Handzeichnnng ins Übheft; stelle dabei die Magnetnadel, wenn sie überm Draht liegt,

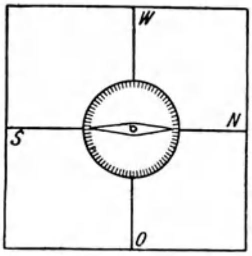

Fig. 181.

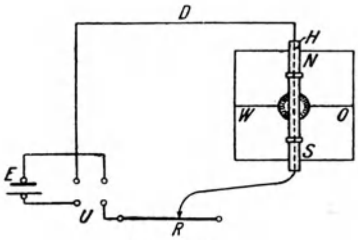

Fig. 182.

ähnlich wie in Fig. 182 durch einen ganzen Pfeil dar, und wenn sie unterm Draht liegt, durch einen durchbrochnen Pfeil, dessen Spitze den Nordpol bezeichnet.

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 und prüfe, ob stets die Daumenregel erfüllt wird. Öffne den Strom. Stelle die Ergeb-

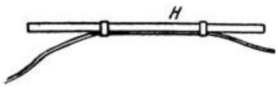

Fig. 183.

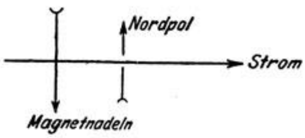

Fig. 184.

nisse ähnlich wie in (b) durch verschiedene Zeichnungen dar. Was wirkt der Ablenkung der Nadel durch den Strom entgegen? *Richtkraft der Erde.*

d) Lege den Holzstab so aufs Papier, daß das gerade Drahtstück auf der Oberseite und genau über der Süd-Nordlinie liegt. Halte die Bussole dicht überm Draht so in der Hand (oder lege sie auf ein eingeklemmtes Stück Pappe), daß ihre Mitte wie vorher genau über dem Schnittpunkte 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 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, wohin der Nordpol abgelenkt	Größe der Ablenkung
Unterm Draht	S ⟶ N		

f) Wie kann man die Richtung bestimmen, wohin 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 parallel zu sich so, daß es in derselben wagerechten Ebene wie die Bussolennadel liegt, und zwar das eine Mal östlich und das andere Mal westlich dicht neben dem Bussolengehäuse. Findet in beiden Fällen eine Ablenkung des Nordpols statt? Öffne den Strom.

h) Wiederhole den Versuch (b) und vergrößere, 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 Drahts 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. 185.)

k) Halte die Bussole über die Mitte der Südseite und beobachte die Richtung, wohin 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 Stroms. Vergleiche die Richtungen der gekrümmten Finger mit den Richtungen der abgelenkten Nadel, d. h. der Kraftlinien. *Regel der rechten Faust.*

l) Wiederhole die Beobachtungen in den Mitten der übrigen Quadratseiten. Mach eine Zeichnung, ähnlich der Fig. 184 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? Mach eine Handzeichnung der Ablenkungen ins Übheft. Bezeichne dabei durch das Zeichen ⊙ einen Strom, der senkrecht aus dem Papier auf den Beschauer

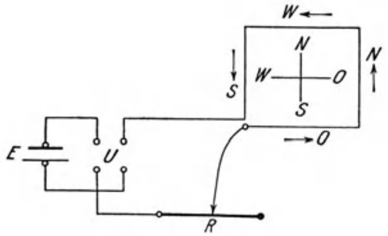

Fig. 185.

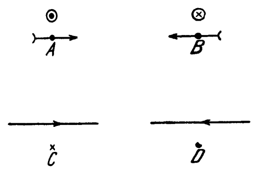

Fig. 186.

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. 186 *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 bei dem Versuch (n) angegeben worden sind. Umfaßt die Regel von der rechten Faust auch diese Erscheinungen?

p) Klemme ein Stück Pappe *A* (Fig. 187) 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

Strom so, daß er im Draht von Süden nach Norden fließt, und bestimme die Größe der Ablenkung. Biege den beweglichen Drahtteil D so, daß er dicht unter der Pappe im magnetischen Meridian wagerecht liegt. Nach welcher Seite lenkt der obere Draht und nach welcher Seite der untere 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 Stroms in der Stromschleife zur Faust und strecke den Daumen aus. Vergleiche die Richtung des ausgestreckten Daumens mit der Richtung, wohin 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. 186 bietet eine Gedächtnishilfe; die punktierten Linien ergänzen die Pfeile der Stromrichtung zu den Buchstaben S und N.

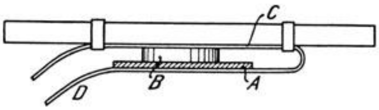

Fig. 187.

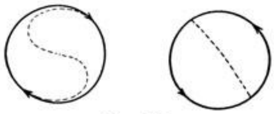

Fig. 188.

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 der Mitte der Schleife? Wende den Strom.

s) Nimm den Draht von dem Holzstab ab, schling ihn einmal dicht um die Bussole längs einem Gehäusedurchmesser 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, wohin der Nordpol abgelenkt wird. In welcher Richtung fließt der Strom durch die Spule? Wie sind die Kraftlinien gerichtet? 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.

42. Aufgabe. *Wie ist das magnetische Kraftfeld einer Tangentenbussole beschaffen?*

Geräte. Tangentenbussole. 1 Sammler oder Daniell. 1 Zeichenbussole. Stromwender. Leitungsschnüre. Meterstab. Quecksilber. 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 einen Stromkreis aus dem Sammler, den 50 oder auch den 500 Windungen der Tangentenbussole und dem offnen Stromwender.

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 Übhefts 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. 189) dar. Gib die Stellung der Nadel in der Zeichnung durch einen Pfeil wieder.

Fig. 189.

c) Bewege die Zeichenbussole in acht Stufen von je 5 cm nach Norden zu und trage jedesmal die Stellung der Nadel in das Übheft 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 Teils der Windungen. Bezeichne die Stellung der Nadel. Bewege die Bussole in der Richtung der Kraftlinie (vgl. S. 213) und buche im Übheft 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 von Ost nach West gerichtete wagerechte 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 der Aufgabe 2 (S. 213) das magnetische Kraftfeld auf. *Kraftfeld der Erde.*

k) Schließe den Strom und nimm von neuem das Kraftfeld auf. Vergleich es mit dem Kraftfelde des Versuchs (i). Wie wirkt also die vom Strom durchflossene Spule auf eine Magnetnadel in ihrem Mittelpunkt ein? Öffne den Strom. *Kraftfeld der Erde. Kraftfeld der Spule. Zusammengesetztes Feld.*

43. Aufgabe. *Wie stellt man eine Tangentenbussole auf, und wie bestimmt man die wahre Ablenkung des Zeigers?*

Geräte. Tangentenbussole. Sammler oder Trockenelement. Stabmagnet. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Stromwender. Gleitwiderstand. VOLKMANNsche Klammer. 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 Versuchs stets dieselben Kanten der Zeigerspitzen. Lies die Nullstellungen an beiden Zeigerspitzen ab und schreibe sie auf:

Ostspitze $\alpha_0 = \ldots^0$ Westspitze $\alpha_0' = \ldots^0$

Beachte den Sinn der Drehung. Bezeichne dabei die Drehung als positiv, die der Bewegung der Uhrzeiger entgegengesetzt ist.

c) Klopfe mit der Spitze des Mittelfingers schwach auf den Deckel des Gehäuses und lies nochmals ab. Hat die Nadel ihre Ruhelage geändert? Welche Ruhelage ist richtig? 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.

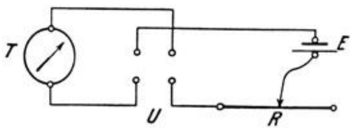

Fig. 190.

e) Verbinde das Element E (Fig. 190) 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 alle übrigen Teile des Stromkreises muß man möglichst weit davon entfernt aufstellen.

f) Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß die Ablenkung des Zeigers zwischen 30^0 und 60^0 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.

Ostspitze $\alpha_0 = \ldots{}^0$ Westspitze $\alpha'_0 = \ldots{}^0$.

Schließe den Strom und lies die Stellungen der Zeigerspitzen ab.

Ostspitze $\alpha_1 = \ldots{}^0$ Westspitze $\alpha'_1 = \ldots{}^0$.

Wie groß ist die Ablenkung jeder Zeigerspitze aus dem magnetischen Meridian?

Ostspitze $\delta_1 = \ldots{}^0$ 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'	$^1/_2\,(\alpha_1 + \alpha_1')$	$^1/_2\,[^1/_2\,(\alpha_1 + \alpha_1') + {}^1/_2\,(\alpha_2 + \alpha_2')]$
	α_2	α_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 die Bussole drehen, damit die Ablenkungen α_1 und α_2 möglichst gleich werden, wenn man gefunden hat, daß α_1 und α_2 verschieden sind?

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. Öffne den Strom, nimm die Bussolennadel von der Spitze und lege sie in das Gehäuse.

44. Aufgabe. *Wie hängt die magnetische Feldstärke eines geraden Stromleiters von der Stromstärke und dem Abstand von der Drahtachse ab?*

(Handbuch S. 439.)

45. Aufgabe. *Wie hängt die Feldstärke in der Mitte einer Stromschleife vom Halbmesser und von der Stromstärke ab?*

(Handbuch S. 443.)

46. Aufgabe. *Wie ändert sich die Feldstärke einer Stromschleife auf dem wagerechten Durchmesser und auf der Achse der Schleife?*

(Handbuch S. 448.)

47. Aufgabe. *Untersuche das magnetische Feld einer Drahtspule. Welche Wirkung hat die Einführung eines Eisenkerns in die Spule?*

Geräte. Glasröhre. 3 m isolierter Kupferdraht. Trockenkette, Stromschlüssel oder Druckknopf. Stromwender. Einige weiche Weißblechstreifen oder Eisendrähte. 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. Zeichne das eine Ende der Spule durch ein aufgeklebtes Stückchen Papier. Verbinde die freien Drahtenden der Spule S (Fig. 191) 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 gezeichnete Ende der Spule der Bussolennadel. Wie wirkt es auf den Nordpol und wie auf den Südpol der Nadel? Wiederhole

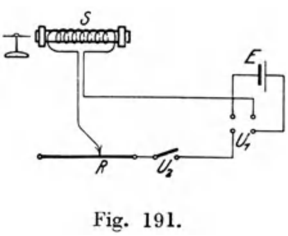

Fig. 191.

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 Stroms 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.

b) Kehre mit dem Stromwender die Richtung des Stroms in der Spule um und prüfe wiederum die beiden Enden der Spule mit der Bussole. Welches Ende ist nun Nordpol? Gilt auch jetzt noch die erweiterte Regel der rechten Faust? Mach eine flüchtige Zeichnung 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 Stroms 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 dem Versuch (d).

f) Prüfe, ob die Uhrfedern bereits magnetisiert sind. Lege 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 andere Hälfte links herum auf die Glasröhre. Wiederhole mit dieser Spule die Versuche (a) und (b).

48. Aufgabe. *Wie ist das Wesen des Drehspulen-Galvanometers zu erklären?*

Geräte. Trockenkette. Hufeisenmagnet. Drehspule. Stromschlüssel. Holzgestell.

Anleitung. a) Schätze die Höhe der Polflächen über der Tischplatte ab. Hänge 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 herum. 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. 192) so auf, daß die Spule zwischen den Polen hängt. Schließe den Strom. Dreht sich die Spule? Warum bewegt sie sich? Gib dem Magnet verschiedene Stellungen zu den Windungen der Spule und suche die Anordnung, wo 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?

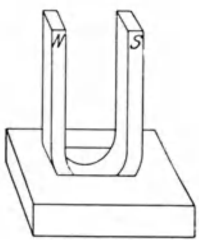

Fig. 192.

c) Stelle den Magnet so, daß seine Kraftlinien den Windungen der Spule gleich 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.

49. Aufgabe. *Wie hängt das magnetische Feld einer Spule von der Stromstärke ab?*

(Handbuch S. 454.)

50. Aufgabe. *Wie hängt die Feldstärke einer Drahtspule von der Windungszahl ab?*

(Handbuch S. 455.)

51. Aufgabe. *Wie groß ist das Aufnahmevermögen, die Durchlässigkeit und die Induktion von gegebenen Eisen- und Stahlsorten?*

(Handbuch S. 457.)

VI. Induktionsströme.

52. Aufgabe. *Kann man mit einem Magnet einen elektrischen Strom erzeugen?*

Geräte. Stromprüfer. Hufeisenmagnet, Langer isolierter Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser. Stabmagnet. Bussole. Stromspule. 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 Drahts gegen einen Zinkstreifen (oder ein Messer oder einen Nagel). Tauche das Zinkstück und das freie Ende des andern Drahts in angesäuertes Wasser oder halte beide, wenn der Prüfer empfindlich genug ist, einfach gegen die Zunge. Schreib auf den Tisch neben die Klemme, wo 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 vom Stromprüfer, daß eine kleine Bewegung des Magnets keine oder nur eine schwache Wirkung auf den Prüfer ausübt (Fig. 193).

c) Verbinde nun die Klemmen des Stromprüfers mit einem ausreichend langen Draht. Fasse das Mittelstück des Drahts 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 lang? In welcher Richtung floß der Strom durch das Mittelstück des Drahts? 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 erregten Stroms? *Dreifingerregel der rechten Hand.*

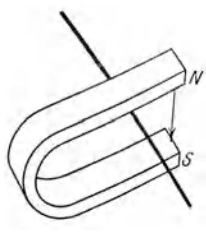

Fig. 193.

d) Bewege nun das Mittelstück des Drahts rasch in entgegengesetzter Richtung, also aus dem Innenraum des Hufeisenmagnets heraus. Nach welcher Richtung schlägt die Nadel des Stromprüfers aus? Gilt auch jetzt noch die Dreifingerregel der rechten Hand?

e) Wiederhole die Versuche (c) und (d), doch bewege dabei das Mittelstück des Drahts recht langsam. Welche Wirkungen treten ein?

f) Wiederhole den Versuch (c), doch halte dabei den Draht da, wo das Feld des Magnets am stärksten ist, einige Sekunden lang still. Welche Wirkung zeigt sich?

g) Bewege den Draht rasch quer durch die Kraftlinien, das eine Mal durch den schwächsten und das andere 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 in der Richtung der Kraftlinien. Welche Wirkung hat dies auf den Stromprüfer? Entsteht ein Strom, wenn der Draht so bewegt wird, daß er keine Kraftlinien schneidet?

i) Bewege rasch ein langes Mittelstück des Drahts senkrecht zu der Richtung der Kraftlinien der Erde. Entsteht in dem Draht ein Strom? Bewege den Draht in der Richtung der Kraftlinien der Erde. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag?

k) Biege das Mittelstück des Drahts zu einer Schleife. (Fig. 194). 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 rasch die Schleife in ihrer Ebene 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?

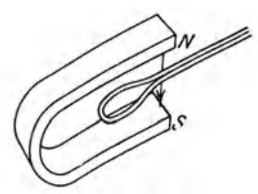

Fig. 194.

l) Bewege die Schleife von verschiedenen 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 Drahts so zusammen, daß die beiden Teile dicht nebeneinander liegen, und bewege den Draht in dem Kraftfelde des Magnets so hin und her, daß die Anzahl der geschnittnen Kraftlinien nicht geändert wird. Entstehen Induktionsströme?

p) Stelle aus dem Mittelstück des Drahts eine kleine Spule mit einigen 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 rasch die Spule in dem Kraftfeld mehrmals vollständig herum. Bei welchen Stellungen wechselt der Strom seine Richtung?

---

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? Die Spule bildet einen Blattmagnet. Welche Seite ist der Nordpol und welche Seite der Südpol? Stelle in flüchtigen Zeichnungen die Kraftlinien der Spule und die Kraftlinien des Stabmagnets dar. Muß man bei der Erzeugung induzierter Ströme Arbeit leisten?

u) Lege den Magnet so auf den Tischrand, 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 geändert, die die Spule schneiden?

v) Kehre den Magnet um und laß den Südpol über den Tischrand hinausragen. 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 Stroms 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?

53. Aufgabe. *Kann man in einem geschlossenen Leiter Ströme erzeugen, wenn man einen benachbarten Stromkreis bewegt oder darin die Stromstärke ändert?*

Geräte. Stromdichter Draht von ~ 30 m Länge und 0,9 mm Durchmesser. 1 bis 2 Trockenketten. Stromschlüssel. Stromprüfer. Verbindungsschnüre.

Anleitung. **a)** Wiederhole Aufgabe 52 (a).

b) Bilde einen Stromkreis aus der einen Spule (Hauptspule), der Kette und dem Stromschlüssel. Verbinde die Enden der andern Spule (Nebenspule) mit den Klemmen des Stromprüfers. Lege die Nebenspule auf den Tisch und die Hauptspule oben darauf. Stelle die Richtung des Hauptstroms 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 Nebenspule? Entsteht in der Nebenspule ein dauernder oder ein vorübergehender Strom? Wird der Nebenstrom durch einen unveränderlichen oder durch einen veränderlichen Hauptstrom erzeugt? Welche Wirkung ruft das Unterbrechen des Stroms hervor? Wie unterscheiden sich die Ausschläge des Stromprüfers, die bei dem Öffnen und bei dem Schließen des Stroms entstehen?

c) Vertausche an der Kette die Drähte miteinander und untersuche, ob beim Schließen des Hauptstroms ein Nebenstrom von derselben Richtung wie vorher erzeugt wird.

d) Laß die Nebenspule ruhig liegen. Hebe die Hauptspule empor, drehe sie um und lege sie wieder auf die Nebenspule. 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 Zeiger des Stromprüfers in die Ruhelage zurückgekehrt ist. Hebe nun, während der Hauptstrom mit gleichbleibender Stärke fließt, schnell die Hauptspule von der Nebenspule ab und ~ 30 cm hoch oder noch höher empor. Was geschieht in der Nebenspule? Halte den Strom geschlossen und lege, sobald der Zeiger des Stromprüfers zur Ruhe gekommen ist, die Hauptspule rasch wieder auf die Nebenspule. Was geschieht? Hat der Strom, der beim Entfernen entsteht, dieselbe Richtung wie der Strom, der beim Annähern erzeugt wird?

f) Unterbrich den Hauptstrom und entferne die Hauptspule, durch die also kein Strom fließt, von der Nebenspule. Wird in dieser eine Wirkung hervorgerufen?

Anhang.

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. Bei dem 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. Bei dem 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 besondere 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 Geräts 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 Ebonit-

flächen unnötig mit den Fingern zu berühren und auf Teilungen der Geräte Marken usw. einzuritzen.

11. Es ist untersagt, ohne Benutzung des Quecksilberbretts 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 Lehrer 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 zu der Durchführung der Versuche erforderlich sind.

16. Jeder Schüler hat alle Anordnungen und Handlungen zu unterlassen, die seine Mitschüler stören, belästigen oder gefährden können.

17. Nach jedem Versuch muß jeder Schüler die Geräte in demselben guten Zustand abliefern, wie er sie vor dem Versuch empfangen hat. Alle Glas- und Blechgefäße sind auszuspülen und abzutrocknen oder auf das Ablaufbrett oder das Trockengestell zu stülpen. Gas- und Wasserhähne müssen geschlossen und die Stromschalter geöffnet sein. An den Klemmen der benutzten Ketten 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 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 die Geräte nur dann 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, wo die Ergebnisse einzutragen

sind. Spare dabei nicht mit dem Raum. Vergiß auch nicht, für Bemerkungen zu jeder einzelnen Messung eine besondere 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 Messung 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, Flüssigkeitständen 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 Berichts deutlich auf, und zwar genau so, wie du sie an den Teilungen abgelesen hast, ohne zuvor eine Umrechnung vorzunehmen oder eine Verbesserung anzubringen. Trage alle Umrechnungen und Verbesserungen 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 gemessene 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 man nur dann verwerfen, wenn nachweislich bei der Messung 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 ebensogut 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. Zieh nur aus den eigenen Beobachtungen Schlüsse.

13. Sieh bei falschen Ergebnissen zunächst nach, ob du keine Rechenfehler begangen hast. Mach 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 der eigenen Unerfahrenheit und Sorglosigkeit oder Mängeln der Geräte zuzuschreiben ist, und weise, wenn Fehler feststellbar sind, auf geeignete Mittel hin, sie zu verkleinern oder zu vermeiden.

C. Auswertung der Beobachtungen.

1. Bildliche Darstellungen.

Sie liefern am raschesten eine Übersicht über den Zusammenhang gemessener 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 Wärmestufe 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 Änderung der einen Größe eine nur schwache Änderung der andern Größe, so darf man für die Größe, die sich rascher ändert, einen viel kleinern Maßstab wählen. Bei jeder bildlichen Darstellung sind stets die Längenmaßstäbe für die Abszissen und die 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 bildlichen Darstellung bereitet selbst jungen Schülern keine Schwierigkeiten, und es gelingt ihnen sogar (namentlich wenn zwischen den Größen eine Gleichung ersten Grades besteht) die ausgleichenden Kurven zu ziehen, und so die Beobachtungsfehler auszuschalten.

Die sich jetzt vollziehende Umgestaltung des mathematischen Unterrichts bewirkt, daß sich auch bei uns die bildlichen Darstellungen immer mehr einbürgern und vielfach in Aufsätzen und Lehrbüchern behandelt werden.

2. Zahlenrechnen.

9,98 cm bedeutet, daß die 8 Zehntelmillimeter auf Schätzung beruhen. In der Physik ist 10 cm von 10,00 cm verschieden. In der erstern Zahl beruhen die Einer der Zentimeter und in der letztern die Hundertstel der Zentimeter auf Schätzung; bei 10 cm ist der Fehler kleiner als 5 cm und bei 10,00 cm kleiner als 0,05 cm. Geltende Nullen darf man nicht weglassen.

Im Fall der zweifelhaften Abrundung, wenn also die abgestoßene 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.

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.

D. Übungsberichte.

Als Übungsheft dient ein Viertelbogenheft aus weißem Papier, oder besser, aus Netzpapier. Achtelbogenhefte sind zu klein nach den Erfahrungen, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium gemacht worden sind. Verwebt man die Übungen mit dem Klassenunterricht, so ist die Einrichtung besonderer 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. den Tag 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 des Versuchsverlaufs, 6. die Messungen, Rechnungen, Schlußfolgerungen und Ergebnisse in übersichtlicher und sachgemäßer Anordnung und 7. saubere Umrißzeichnungen der benutzten Geräte und ihrer Anordnungen.

Der Bericht soll die urschriftlichen Aufzeichnungen des Schülers enthalten und sofort nach jeder Beobachtung mit Bleistift, am besten mit dem Kopierstift „Castel" von A. W. Faber, niedergeschrieben werden. Im Berichte darf nichts weggeschabt werden; alle zu tilgenden Eintragungen sind durchzustreichen oder in Winkelklammern ⟨ ⟩ einzuschließen und die Versehen durch eine Randbemerkung zu erklären. Der ganze Bericht muß unbedingt zuverlässig sein. Auf deutliches Schreiben namentlich aller Zahlen und Einheiten ist großer Nachdruck zu legen. Alle Aufzeichnungen und Rechnungen müssen übersichtlich angeordnet und reichliche Zwischenräume für spätere Zusätze freigelassen werden. Alle Ergebnisse sind womöglich in Tafeln einzutragen und, wenn dies nicht zweckmäßig ist, in gutem Deutsch kurz, aber bündig, in ganzen Sätzen klar und bestimmt aufzuschreiben.

Die hauptsächlichsten Mängel der Berichte sind: schlechte Ausdrucksweise, Verstöße gegen 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.

Sachverzeichnis.

Die Zahlen verweisen auf die Seiten.