

ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE AUS DEM GEBIETE
DER MATHEMATIK, NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK

HEFT 8

NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK DER GEGENWART

EINE AKADEMISCHE REDE MIT ZUSÄTZEN

VON

RICHARD VON MISES



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1922

Abhandlungen und Vorträge

aus dem Gebiete der

Mathematik, Naturwissenschaft und Technik

1. Heft. Die neue Mechanik. Von H. Poincaré. 4. Aufl. M. 4.80

„Da es sich um eine fundamentale Wendung des gesamten menschlichen Denkens handelt, so wird der Leser mit besonderem Dank diese Darstellung der grundlegenden Ideen hierbei entgegennehmen, welche von gleich ausgezeichnete Seite stammt und daher die Gewähr gibt, daß ihm nur gesündeste und klarste Belehrung über das wichtige Problem zuteil wird.“ (Zeitschrift für physikalische Chemie.)

2. Heft. Physikalisches über Raum und Zeit. Von Prof. Dr. E. Cohn. 4. Auflage. Geh. M. 4.80

„In anschaulicher Darstellung legt der Verfasser die physikalischen Erfahrungen dar, die zum Verständnis des Verlaufs der Naturvorgänge im Raum- und Zeitsystem führen und in denen die Relativitätstheorie wurzelt.“ (Astronom. Nachrichten.)

3. Heft. Das Relativitätsprinzip. Eine Einführung in die Theorie. Von Prof. Dr. A. Brill. Mit 6 Figuren. 4. Auflage. M. 8.40

„Die große Reichhaltigkeit des Inhalts und die Behandlung auch der mehr philosophischen Seite der Probleme machen das Buch für jeden wichtig und wertvoll, der die Folgerungen u. Fortschritte der Relativitätstheorie kennen lernen will.“ (Sokrates.)

4. Heft. Der Hohenersche Präzisionsdistanzmesser und seine Verbindung mit einem Theodolit (D.R.P. Nr. 277 000). Einrichtung und Gebrauch des Instrumentes für die verschiedenen Zwecke der Tachymetrie; mit Zahlenbeispielen sowie Genauigkeitsversuchen. Von Prof. Dr.-Ing. H. Hohenner. Mit 7 Abbildungen im Text und 1 Tafel. Geh. M. 9.60

Erörtert die theoretischen Grundlagen dieses neuen optischen Entfernungsmessers, seine Wirkungsweise und seine Vorzüge gegenüber den bisherigen Instrumenten sowie seine vielseitige Verwendbarkeit bei größtmöglicher Genauigkeit.

5. Heft. Raum, Zeit und Relativitätstheorie. Gemeinverständl. Vorträge von Prof. Dr. L. Schlesinger. Mit 2 Taf. u. 5 Fig. M. 8.40

Die Abhandlung, aus einem Vortrag hervorgegangen, der sich an Gebildete aller Stände wendet, behandelt die allgemeine und spezielle Relativitätstheorie. Sie setzt nur ein Mindestmaß an mathematischen Kenntnissen voraus und bedient sich vorwiegend graphischer Methoden.

6. Heft. Der Kreiselkompaß. Von Dr. K. Hochmuth. Mit 20 Fig. im Text. Geh. M. 12.—

Die Schrift gibt eine bisher noch nicht vorhandene knappe aber ebenso klare Darstellung der Grundprinzipien der Theorie wie der Konstruktion des Apparates.

7. Heft. Die Grundgleichungen der Mechanik insbesondere starrer Körper. Neu entwickelt mit Graßmanns Punktrechnung. Von Studiendirektor Dr. A. Lotze. Geh. M. 16.—

Die Abhandlung gibt eine kurze Darstellung der Mechanik von Punktsystemen und starren Körpern mit Graßmanns Punktrechnung und zeigt, daß diese auch in der Mechanik eine weitgehende Vereinfachung und Vereinheitlichung der Methoden und eine naturgemäße Darstellungsweise ermöglichen wird.

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE AUS DEM GEBIETE
DER MATHEMATIK, NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK

HEFT 8

NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK DER GEGENWART

EINE AKADEMISCHE REDE MIT ZUSÄTZEN

VON

RICHARD VON MISES



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1922

Vorwort.

Im Mai 1919 habe ich an der technischen Hochschule Dresden eine Professur in der mechanischen Abteilung übernommen. Die öffentliche Antrittsrede, wie sie in Sachsen vor Studierenden, Kollegen und Gästen gehalten zu werden pflegt, verzögerte sich aus verschiedenen Gründen und fand erst am 24. Februar 1920 statt. Sie wurde zugleich eine Abschiedsrede, da ich inzwischen einen Ruf an die Berliner Universität angenommen hatte.

Im Frühjahr 1920 bat mich die Schriftleitung der „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ um Überlassung der Vortrags-Niederschrift zur Veröffentlichung. Diese erfolgte, ohne Zusätze oder Änderungen, in den Heften 35 und 36 des Jahrganges 64 am 28. August und 4. September 1920 (S. 687—690 und 717—719); sie fand einigen Beifall, hauptsächlich wohl im Hinblick auf die knappe Darstellung, die ich einigen Grundgedanken der Relativitätstheorie und der modernen Atomistik gegeben hatte.

Vor kurzem machte mir die Verlagsbuchhandlung B. G. Teubner den Vorschlag, die Rede als selbständiges Schriftchen erscheinen zu lassen. Ich bin nur mit einigem Zögern diesem Anerbieten gefolgt, da ich der Wirkung der für einen engeren Kreis bestimmten Worte auf die Allgemeinheit nicht ganz sicher bin. In einigen kleinen Zusätzen habe ich der neuesten Entwicklung Rechnung zu tragen und meine Gesamtauffassung noch etwas zu erläutern versucht. Man mag das Ganze hinnehmen als eine bescheidene Gelegenheitschrift, die den einen oder anderen zu eigenen Gedanken anregen möchte. — Eine etwas weitergehende sachliche Aufklärung über die Relativitätstheorie findet der Leser am besten in den S. 13 angeführten kleinen Schriften.

Berlin, im September 1921.

Der Verfasser.

SCHUTZFORMEL FÜR DIE VEREINIGTEN STAATEN VON AMERIKA:

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1922

Ursprünglich erschienen bei B.G. Teubner in Leipzig 1922

**ALLE RECHTE,
EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN**

ISBN 978-3-663-15292-7

ISBN 978-3-663-15860-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-15860-8

Wir haben uns daran gewöhnt und es ist uns zur geläufigen Redensart geworden, die letzten Jahrzehnte des abgelaufenen Jahrhunderts als ein „Zeitalter der Technik“ zu bezeichnen. Was damit gemeint ist, kann etwa so umschrieben werden: Wir wollen sagen, daß in jenem Zeitraum kein bestimmter leitender Gedanke, wie etwa früher einmal der Humanismus, die Reformation usw., das allgemeine Bildungsbewußtsein beherrscht hat, sondern daß der Zeitraum von einer besonderen Arbeitsrichtung, eben der auf Ausgestaltung der technischen Wohlfahrt bedachten, sein Gepräge erhalten hat. Es scheint mir außer Zweifel, daß diese Anschauung sowohl in ihrem positiven wie in ihrem negativen Teil durchaus berechtigt ist. Seit dem sogenannten Zeitalter der Aufklärung, als dessen späten Ausklang wir in Deutschland die vollendete Blüte der Literatur zu Beginn des 19. Jahrhunderts zu verzeichnen haben, seit jenen von Frankreich ausgegangenen Ideen der Aufklärung hat sich keine einheitliche geistige Bewegung mehr in Europa durchzusetzen vermocht. Aber ganz unmittelbar schließt hier der ungeheure Aufschwung der Verkehrstechnik an, den Goethe schon vorausgeahnt hat, als er den Wunsch aussprach, dem Durchstich der großen Kanäle zuliebe noch fünfzig Jahre länger leben zu dürfen. Wenige Jahre nach dem Tode Goethes wurde die erste Eisenbahn in Deutschland eröffnet, und in raschem Zuge begann man, alle Teile der bewohnten Erde in ein immer dichter werdendes Netz von Eisenschienen einzuspannen. Die Eisenbahnen waren der Ausgangspunkt, wurden die Grundlage und blieben in gewissem Sinn auch der Höhepunkt der ganzen technischen Entwicklung. Kein anderes Verkehrsmittel hat ähnliche praktische Bedeutung in unserm Leben erlangt, keines stellt einen derart weitverzweigten, Menschen und Material umfassenden Apparat in seine Dienste. Aus den Bedürfnissen der Eisenbahnen entwickelte sich die Schwerindustrie, die ihrerseits zu immer mächtigerer Aufschließung der Dampfkraft führte. Daneben griff die Elektrotechnik ein, deren bekannt rasche Entwicklung einige Jahrzehnte später eingesetzt hat. Sie hat durch die elektrische Kraftübertragung Verkehr und Industrie außerordentlich gestärkt, dann durch zahlreiche Er-

findungen, namentlich in der Beleuchtungs- und Meldetechnik, unser äußeres Leben geradezu umgestaltet. Niemand wird bestreiten, daß all diese Dinge — und die vielen andern hierhergehörigen, die ich nicht nenne, weil sie jeder leicht ergänzt — einen so breiten Raum im Bewußtsein der letzten Jahrzehnte gewonnen haben, daß man mit Recht in ihnen das Kennzeichen dieser Zeit erblicken darf.

Aber, indem wir von einem „Zeitalter“ der Technik oder des technischen Aufschwunges sprechen, schließen wir zugleich eine Einschränkung ein, die man sich in der Regel nicht gegenwärtig hält, und auf die ich jetzt Ihre Aufmerksamkeit hinlenken möchte. Das „Zeitalter“ der Technik hat einmal begonnen, sagen wir etwa, im vierten oder fünften Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts; nun, dann muß es auch einmal enden. Schon in unserer Ausdrucksweise liegt es eingeschlossen, daß wir das Vorherrschen der technisch gerichteten Gedanken-Einstellung zwar als eine bedeutende und in ihren Wirkungen bleibende, aber doch als eine zeitlich begrenzte Erscheinung ansehen. Und so entsteht naturgemäß die Frage: Befinden wir uns überhaupt noch mitten darin in diesem „Zeitalter der Technik“, oder haben wir uns nicht schon so weit seinem Rande genähert, daß ein Ausblick auf das, was folgt, zugleich möglich und nützlich erscheint? . . . Es ist bekanntlich eine schwierige und undankbare Aufgabe, zu prophezeien, und vielleicht ist es noch schwieriger und noch weniger dankbar, die Gegenwart deuten zu wollen, da man hier rascher der Überführung ausgesetzt ist, ohne sich doch auf mehr als ein gewisses Gefühl der Abschätzung stützen zu können. Immerhin will ich es wagen und will versuchen, Ihnen heute eine bestimmte und, wie ich denke, klare Antwort auf jene Frage vorzubringen und zu begründen. Ich meine: Wir stehen schon lange, vielleicht seit zwei Jahrzehnten, am Ausklange jener Epoche, die man mit Recht das technische Zeitalter genannt hat; und wir sind allmählich eingetreten in einen Zeitraum, dem eine geistige Bewegung bestimmter Art, ähnlich der zur Zeit des Kopernikus, Galileis und Keplers, ihr Gepräge verleiht, in einen Zeitraum der Blüte spekulativer Naturwissenschaft.

Lassen Sie mich, ehe ich diesen mindestens in seinem zweiten Teile vielleicht noch überraschenden Satz näher ausführe und begründe, zwei Einwände kurz vorwegnehmen. Ich will natürlich nicht sagen, daß die Entwicklung der Technik aufhört oder aufgehört hat, noch viel weniger, daß etwa eine Rückbildung zu primitiveren Formen der Technik bevorsteht. Meine Behauptung geht nur dahin, daß die Vorherrschaft des technischen Fortschrittes innerhalb des Kulturbewußtseins jetzt eine naturgemäße Zurück-

drängung zugunsten anders gearteter Bestrebungen erfährt. Es ist eine ganz andere Frage, zu der ich eine Stellungnahme hier ablehnen möchte, ob wir etwa aus einer Art von Übersättigung an technischer Zivilisation heraus zu sogenannten natürlicheren Lebensbedingungen zurückstreben. Man mag eine solche Zielsetzung in der gegenwärtigen Gestaltung der Weltlage begründet sehen oder nicht — mit dem Gegenstand, der uns jetzt beschäftigt, hat das nichts zu tun.

Der zweite Einwand, den ich kurz besprechen möchte, wird sich mit mehr Berechtigung auf den augenblicklichen Zustand der äußeren Welt berufen dürfen. Man wird sagen, der Krieg und mehr noch die aus ihm entsprungenen außen- und innenstaatlichen Veränderungen, einschließlich des Erfolges gewisser sozialer Gedankenbildungen, hätten so tief auf unsere Lebensanschauung eingewirkt, daß wir auf lange hinaus mit der weiteren Verarbeitung und allmählichen Lösung dieser Fragen genügend beschäftigt sein müßten. Das mag richtig sein, aber die geschichtliche Erfahrung lehrt, in wie hohem Maße rein geistige Bewegungen und Erscheinungen von politischer Entwicklung unabhängig bleiben. Der große Aufschwung der Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert, an dem Deutschland seinen gebührenden Anteil hatte, fällt zum erheblichen Teil in die Zeit des Dreißigjährigen Krieges; die klassische Zeit der deutschen Literatur war die Zeit des ersten Napoleon, die, für uns Deutsche wenigstens, mit der heutigen manche Ähnlichkeit hat. Wenn man sich in der Beurteilung der Verhältnisse nicht von Schlagworten leiten läßt, sondern die einzelnen Tatsachen selbst zu prüfen sucht, so wird man finden, daß kaum einer von den geistig führenden Männern irgendeines Gebietes, sei es bei uns oder in den anderen Ländern, sich in der Richtung oder in dem Ausmaß seiner Arbeit ernstlich hat beeinflussen lassen; und man wird vergebens nach irgendeiner neuen, wirklich bedeutenden Idee suchen, die der bald sechsjährigen Welterschütterung ihr Entstehen verdankt. Was wir jetzt in Mitteleuropa erleben, ist ein äußerer Sieg — vielleicht zugleich ein innerer Verfall — von politisch-sozialen Gedanken, die mindestens fünfzig Jahre alt sind.

Will man das, was die Gegenwart an neuen und fruchtbaren Gedanken enthält, untersuchen, so wird man, wie schon gesagt, kaum ganz vermeiden können, sich auf etwas gefühlsmäßige und subjektive Urteile zu stützen. Aber man wird, denke ich, kaum zu widersprechenden Ergebnissen kommen, wenn man sich die Frage vorlegt, ob wir uns noch mitten in der Hochflut der technischen Fortschritte befinden, die für das abgelaufene Jahrhundert in seiner zweiten Hälfte kennzeichnend waren. Was uns die ersten beiden

Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts an technischen Errungenschaften gebracht haben, sind in der Hauptsache die Luftfahrttechnik und die drahtlose Übertragung der Schrift und Sprache. Beide Erfindungen, wenn man diesen Ausdruck gebrauchen darf, erscheinen mir wie der Abschluß je einer langen Kette von Vorstufen. Die Luftfahrt ist gleichsam die letzte Schuld, die das mechanische Zeitalter an die Forderung der Menschen nach Verkehrsmöglichkeiten abzutragen hatte; eine alte Schuld, wenn man bedenkt, seit wie vielen Jahrhunderten die Sehnsucht vieler Menschen am Fluge und am Fliegen hing. Jetzt, da wir, wie man sich ausdrückt, die Luft beherrschen, übersehen wir deutlich, daß vom rein praktischen Standpunkt eine nennenswerte Änderung unserer Verkehrsverhältnisse, namentlich wenn man in dem Warenaustausch das Entscheidende sieht, dadurch nicht eintritt. Daß wir die eine oder andre Verbindung etwas rascher erhalten, daß wir, vielleicht, mit Riesenflugzeugen und Luftschiffen die ganz großen Erdentfernungen eher bewältigen können als früher, bedeutet im Verhältnis zu dem, was wir den Eisenbahnen oder dem Dampfschiff verdanken, nicht mehr viel. Es liegt hier ganz ähnlich wie bei der drahtlosen Telegraphie, die z. B. den Verkehr mit auf See schwimmenden Schiffen ermöglicht, den mit andern Kontinenten erleichtert: beidemale ist es ein bestimmter quantitativer Fortschritt, der aber gerade quantitativ im Verhältnis zu dem früher Erreichten nicht sehr groß ist. Doch nicht darin allein liegt das Entscheidende, sondern: Vergleichen wir etwa die letzten 20 Jahre mit der Zeit von 1880 bis 1900, in die sich fast die gesamte Entwicklung der Elektrotechnik zusammendrängt, oder mit der Zeit von 1850 bis 1870, in der der Hauptteil des kontinentalen Eisenbahnnetzes entstanden ist, so müssen wir erkennen, daß der Umfang und die Zahl der Errungenschaften auf den verschiedenen Gebieten sich zweifellos vermindert haben und daß vor allem der Zug der ganzen Entwicklung ein langsamerer geworden ist. Wir sind nach einem kurzen Stück sehr steilen Aufstieges in eine Kurve stetigen Fortschreitens übergegangen, und in dieser — das ist das Wesentliche meiner Behauptung — fällt dem technischen Element innerhalb des gesamten Kulturlebens nicht mehr die vorherrschende Rolle zu. Langsam fortschreitende Entwicklung läßt sich schließlich auf fast allen Gebieten menschlicher Betätigung zu jeder Zeit feststellen. Das, was ich heute hier näher ausführen möchte, ist die Behauptung, daß wir auf einem bestimmten, von dem technisch-wirtschaftlichen völlig verschiedenen Wissenschaftsgebiet eine Epoche geradezu sprunghaften Aufstieges miterleben.

Ja, ich stehe nicht an, zu erklären, daß wir nach meiner Über-

zeugung in der naturwissenschaftlichen Erkenntnis unserer Umwelt jetzt eben über eine neue Schwelle getreten sind, ähnlich jener, die vor etwa drei oder vier Jahrhunderten von einem Kopernikus, einem Galilei überschritten worden ist. Nicht Einzeltatsachen irgendwelcher Art sind es, nicht neue Lehrsätze oder neue Ergebnisse, auch nicht Forschungsmethoden, um die es sich hier handelt, sondern, wenn ich so sagen darf — dies Wort philosophisch genommen — neue Anschauungen der Welt. Ich will hier versuchen, Ihnen anzudeuten wie sich durch die neuesten physikalischen Arbeiten auf hauptsächlich zwei verschiedenen Gebieten unser Weltbild in den beiden letzten Jahrzehnten gewandelt hat und neuen fruchtbaren Wandlungen offensteht; ich will mich bemühen, Ihnen gewisse Leitgedanken dieser neuen Naturanschauung näher zu bringen, um Sie so davon zu überzeugen, daß diese wohl berechtigt und auch auf dem Wege sind, aus dem engen Kreis der Fachleute heraus in das allgemeine Bildungsbewußtsein einzudringen. Dem Namen nach zumindest sind Ihnen die beiden Forschungsgebiete, von denen ich zu sprechen habe, wohl bekannt. Ich meine zunächst die sogenannte Relativitätstheorie, die sich an den großen Namen Albert Einsteins knüpft, und auf der andern Seite die noch mitten im Flusse der Entwicklung stehende Lehre von dem Aufbau der Materie, die moderne Atomistik, an der die besten Männer aller Nationen mitarbeiten, unter deren Schöpfern aber vor allem die Deutschen Boltzmann und Planck zu nennen sind. Über beide Problemgruppen ist ja in der letzten Zeit schon viel außerhalb der Fachkreise gesprochen worden, über die Relativitätstheorie anlässlich ihres jüngst bekannt gewordenen Erfolges bei der Expedition Eddingtons, über die Atomtheorien gelegentlich der Verleihung der beiden letzten Nobelpreise an die deutschen Physiker Planck und Starck. Selbstverständlich kann ich hier durchaus nicht auf Einzelheiten eingehen, sondern will das Ziel im Auge behalten, Ihnen einen Gesamteindruck von dem allgemeinen Erkenntniswert der wichtigsten Ergebnisse zu vermitteln.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie ist erwachsen aus einer Krise der Elektrodynamik und Optik, deren Anfänge schon in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurückreichen, die aber erst zum offenen Ausdruck gekommen ist durch das Experiment der Amerikaner Michelson und Morley in den letzten Jahren des Jahrhunderts. Das Michelsonsche Phänomen — es verdient wohl den von Goethe gern gebrauchten Namen eines Urphänomens — ist sehr leicht zu verstehen. Man wußte seit langem, oder nahm es wenigstens als sicher an, daß die Erde sich in ihrer jährlichen Bahn

um die Sonne mit einer gewissen Geschwindigkeit von etwa 30 km/sek im Weltraum fortbewegt. Und man nahm weiter an, gestützt auf unzählige Beobachtungen elektrischer und optischer Vorgänge, daß elektrische Wellen oder Lichtwellen sich ebenfalls im Weltraum mit einer unveränderlichen Geschwindigkeit fortpflanzen, die etwa das Zehntausendfache der eben genannten beträgt. Wenn beides wahr ist, muß man auch die Zusammensetzung, die Summe dieser beiden Geschwindigkeiten, oder bei geeigneter Anordnung ihre Differenz beobachten können. Um das genauer zu verstehen, denken Sie sich, bitte, für einen Augenblick die Erde durch einen langen, fahrenden Eisenbahnzug ersetzt, das Lichtsignal, das auf der Erde ausgesendet werden soll, durch einen Pistolenschuß, der neben dem Fahrdamm parallel dem Gleis abgefeuert wird. Sobald der Zug stillsteht, braucht das Geschöß jedenfalls gleich viel Zeit, ob es nun von der Lokomotive aus rückwärts zum letzten Wagen geschossen wird, oder umgekehrt vom letzten Wagen zur Lokomotive. Ist aber der Eisenbahnzug in voller Fahrt und es feuert jemand, neben dem Gleise stehend, von der Lokomotive aus der Fahrtrichtung entgegen, so muß das Geschöß etwas rascher beim letzten Wagen ankommen als früher, weil ja, während das Geschöß fliegt, der Wagen ihm entgegenkommt. Umgekehrt: Schießt jemand im Augenblick, da der letzte Wagen an ihm vorbeifährt, nach vorne gegen die Lokomotive zu, so braucht das Geschöß, um sein Ziel zu erreichen, mehr Zeit als bei stillstehendem Zug, weil die Lokomotive inzwischen ein Stück weiter gefahren ist, während sich das Geschöß unterwegs befunden hat. Man pflegt diese Verhältnisse durch das Additionsgesetz der Geschwindigkeiten darzustellen, indem man sagt: Die relative Geschwindigkeit des Geschosses gegenüber dem fahrenden Zug ist im ersten Fall — beim Schuß nach rückwärts — die Summe der Fahrtgeschwindigkeit und Schußgeschwindigkeit, im zweiten Falle — beim Schuß nach der Lokomotive — die Differenz.

Diese Erfahrung und ihre einfache Deutung scheint so einleuchtend und selbstverständlich zu sein, daß man sie ohne weiteres auf das Verhältnis zwischen Erdbewegung und Lichtausbreitung überträgt. Schickt man von einem Erdpunkt aus Lichtsignale nach verschiedenen Richtungen, so müssen sie demnach gleich lange auf der Erde gemessene Wege in verschiedenen Zeiten zurücklegen, je nachdem, wie die betreffende Richtung zu der der Erdbewegung liegt. Am schnellsten muß das Signal ankommen, das entgegen der Erdbewegung läuft, weil ihm ja — wie vorhin der letzte Wagen unseres Zuges — das Ziel unterwegs entgegenkommt; am längsten

muß der Lichtstrahl brauchen, der mit der Erde läuft, während in den Richtungen senkrecht hierzu sich eine mittlere Zeit, so als ob die Erde in Ruhe wäre, einstellen müßte. Man könnte sich geradezu die Aufgabe stellen, aus den Unterschieden der einzelnen Zeiten die Erdgeschwindigkeit zu bestimmen. Michelson und Morley haben tatsächlich eine Anordnung getroffen, die die rechnergemäß zu erwartenden Zeitunterschiede bis auf ein Hundertstel ihres Wertes genau zu messen gestatteten. Der Verlauf des Versuches war aber völlig negativ: das Licht braucht nach Osten und Westen, nach Norden und Süden genau gleich viel Zeit. An der Richtigkeit der Beobachtung zu zweifeln, hat keinen Sinn, denn sie stellt keine isolierte Einzel Tatsache dar, sondern bringt, wie schon erwähnt, nur den scharfen Ausdruck für eine ganze Reihe längst bekannter Unstimmigkeiten. Insbesondere aus dem Zusammenhang mit den Fizeauschen Versuchen von 1851 über die Lichtausbreitung in verschiedenen Körpern mußte man zu dem unentrinnbaren Schluß gelangen: Das Additionsgesetz der Geschwindigkeiten mag für langsame Bewegungen, wie sie die Mechanik gewöhnlich beobachtet, gültig sein, bei großen Geschwindigkeiten, wie denen des Lichtes im leeren Raum oder in dichteren und dünneren Körpern, gilt es nicht.

Naturgemäß sind vielfach Theorien entworfen worden, die diesem Tatbestand Rechnung tragen sollten, aber sie zeigen durchweg den Charakter des Gekünstelten, so etwa, wie die vor-Kopernikanischen Himmelstheorien. Jeder neuen Beobachtung mußte man mit Hilfe einer neuen hypothetischen Annahme das Gleichgewicht halten, schließlich mußte man so weit gehen, mit dem Leydener Physiker H. A. Lorentz anzunehmen, daß alle Körper, wenn sie in Bewegung kommen, eine gewisse Zusammenziehung in der Bewegungsrichtung erfahren. Einstein aber erkannte, daß hier an den tiefsten Grundlagen unseres physikalischen Weltbildes angegriffen werden müsse. Die Lösung, die Einstein 1905 gab, und die heute die spezielle Relativitätstheorie genannt wird, geht von der fundamentalen Erkenntnis aus: Wir unterliegen einer Selbsttäuschung, wenn wir den Begriff der Zeitmessung, den Begriff der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse als etwas objektiv Gegebenes ohne Definition hinnehmen; es gibt keine absolute Zeit und infolgedessen auch keine absolute Lichtgeschwindigkeit. Wie ist das zu verstehen und wie führt diese Erkenntnis zu einer Erklärung des Michelsonschen Urphänomens? Auch das läßt sich, wenn wir einen Augenblick dabei verweilen, ganz gut klar machen.

Wenn wir sagen, daß zwei Ereignisse, z. B. ein Kanonenschuß

hier (Dresden) und einer in Berlin gleichzeitig stattfinden, so hat dies, sagt Einstein, nur dann einen physikalischen Sinn, wenn es ein bestimmtes Beobachtungsverfahren gibt, durch das man diese „Gleichzeitigkeit“ feststellen kann. Sie werden erwidern: Man sieht eben auf zwei gute Uhren, eine in Dresden und eine in Berlin. Ja, aber dann müßte man erst wissen, ob diese Uhren wirklich gleich gehen; ich will aber annehmen, die Schüsse seien gerade die 12-Uhr-Zeichen der maßgebenden Uhren Dresdens und Berlins, und es soll durch sie erst ermittelt werden, wie es mit den Uhren steht. Gegen folgendes Verfahren werden Sie wahrscheinlich nichts einzuwenden haben: Man richtet auf der Strecke Dresden—Berlin, genau in der Mitte, einen Beobachtungsstand ein und wartet hier auf die 12-Uhr-Zeichen. Sobald die Zeiger auf 12 Uhr stehen, sendet man mit dem Kanonenschuß (oder statt dieses) je ein Lichtsignal oder einen drahtlosen elektrischen Funken von den Uhren aus ab. Treffen die beiden Signale, die von Dresden und Berlin ausgehen, bei ihrer Ausbreitung genau bei dem Beobachter in der Mitte zusammen, so erklären wir die Uhren als übereinstimmend oder die Schüsse als gleichzeitig. Liegt aber der Treffpunkt, sagen wir um anderthalb Kilometer, näher bei Dresden, so erklären wir, daß die Uhr in Berlin vorgeht, und zwar um ein hunderttausendstel Sekunde. Nun, es wird von Ihnen nicht mehr verlangt, als daß Sie dieses Gedankenexperiment als Definition der Gleichzeitigkeit ansehen und alles, aber wirklich alles, was Sie sich sonst bei diesem Worte denken, aufgeben: Wahrhaftig eine Forderung, die für den Augenblick leicht erscheint, aber zentnerschwer wird in ihren Folgerungen.

Denn ich will Ihnen sogleich zeigen, daß Sie mit Annahme dieser Definition die scheinbare Ungeheuerlichkeit zugeben: Zwei Ereignisse, die für einen in Ruhe auf der Erde befindlichen Menschen gleichzeitig sind, sind es nicht mehr für den Bewohner eines anderen Planeten, ja genau genommen nicht einmal für einen in einem Eisenbahnzug fahrenden Beobachter, wenn auch hier die Abweichungen außerordentlich klein sind. Denken wir uns etwa einen riesig langen Zug, der von Dresden bis Berlin reicht und der gerade, wenn es 12 Uhr wird, mit seiner Lokomotive in Berlin einfährt, während sein letzter Wagen eben Dresden verläßt. Wer in dem Zug sitzt und nicht zum Fenster hinaussieht, wird folgerichtig sagen: Ein Lichtsignal, das von meiner Lokomotive, und eines, das vom letzten Wagen kommt, sind dann und nur dann „gleichzeitig“ abgegeben, wenn sich ihre Wellen genau in der Mitte des Zuges treffen. Nun begegnen aber die Wellen, wie wir früher angenommen haben, wenn sie „gleichzeitig“ abgelassen werden, einander

in der Mitte des Weges von Dresden nach Berlin. Dort befand sich die Mitte des Zuges, als die Signale abgelassen wurden; während von diesen aber jedes seine Wegehälfte zurücklegte, ist der Zug um ein Stück weiter gefahren; der Reisende sieht also, daß der Treffpunkt im Zuge etwas gegen Dresden hin verschoben ist. Daher kann er gar nicht anders als erklären: die Uhr in Berlin geht vor. Freilich handelt es sich da nur um Millionstel von Sekunden, aber das Beispiel soll ja nur dazu dienen, den Grundsatz zu erläutern und nicht, etwa verkehrstechnische Vorschriften herbeizuführen. Jedenfalls sehen Sie, daß, wenn man der Zeitmessung ein objektiv durchführbares Verfahren zugrunde legen will, man sofort dahin gelangt, daß die Zeitmessung für gegeneinander bewegte Beobachter verschieden ist. Nur dem Umstand, daß die Lichtgeschwindigkeit so außerordentlich groß ist, ist es zuzuschreiben, daß die Unterschiede für das gewöhnliche Leben vernachlässigbar klein erscheinen. Wäre die Lichtgeschwindigkeit nicht so gewaltig, so wäre die Unstimmigkeit schon viel früher aufgefallen.

Es leuchtet jetzt auch ein, daß bei dieser Komplikation der Zeitmessung von einem einfachen Addieren oder Subtrahieren zweier Geschwindigkeiten zur Feststellung der Relativbewegung nicht mehr die Rede sein kann. Denn Geschwindigkeit heißt der in einer Sekunde zurückgelegte Weg. Wenn aber, vom Eisenbahnzug aus gesehen, eine Sekunde etwas anderes ist, als vom Bahndamm aus, so muß man, um die Relativgeschwindigkeit des neben dem Gleise dahinfliegenden Geschosses gegenüber dem Zug zu ermitteln, erst die einen Sekunden auf die andern umrechnen. Dadurch entsteht eine etwas verwickeltere Formel als die einfache Summe, eine Formel, die Einstein ermittelt hat und die folgendes leistet: 1. Für kleinere Geschwindigkeiten, von der in der Mechanik üblichen Größenordnung bis etwa zum Tausendfachen der Schall-Fortpflanzgeschwindigkeit, unterscheidet sie sich so gut wie gar nicht von der einfachen Summenformel. 2. Wird eine der Geschwindigkeiten so groß wie die der Lichtfortpflanzung in dichten Medien, so findet sich genau das Gesetz wieder, das 50 Jahre vorher aus den Beobachtungen Fizeaus empirisch abgeleitet war und 3. Ist eine der Geschwindigkeiten gleich der des Lichtes im leeren Raum, so ergibt sich genau das, was der Michelsonsche Versuch fordert, nämlich: die relative Geschwindigkeit des Lichtes ist gegenüber jedem bewegten Körper genau die gleiche, wie immer sich dieser Körper bewegen mag. All das kommt ohne jede besondere Hypothese heraus, lediglich durch die erkenntniskritische Klärung des Zeitbegriffes. Natürlich ist in mathematischer Hinsicht noch viele und tiefgreifende

Arbeit nötig, um alle Folgerungen, deren die Theorie fähig ist, herauszuschälen.

Es muß hier die Frage aufgeworfen werden, wie weit die beobachteten Tatsachen zu der neuen Auffassung des Zeitbegriffes zwingen. Kann man nicht auch, so wird man sagen, in dem Rahmen des bisherigen, naiven Zeitbegriffes die Erscheinungen erklären? Darauf ist zweierlei zu antworten. Erstens, daß eine Theorie niemals unausweichlich ist; man könnte, wie Boltzmann einmal gesagt hat, sich schließlich auch auf die Anschauung versteifen, daß die Sterne nichts als glänzende Pünktchen am Himmelszelt seien, und durchaus auf die „Hypothese“ verzichten, daß es Weltkörper sind wie unsere Erde oder noch viel größer. Die Folge wäre nur, daß wir, um die Bewegungen der Gestirne, ihr zeitweiliges Verschwinden und Wiederkommen zu erklären, ein unendlich verwickeltes System von Beschreibungen und Aufzählungen brauchten, während wir heute das Ganze auf wenige einfache Gedanken zurückführen. Ebenso steht es in der Elektrodynamik, in der wir nicht hoffen können, den Tatsachen durch einen ähnlich einfachen Gedanken wie den Einsteinschen gerecht werden zu können, „einfach“ nicht im Sinne von „anschaulich“ oder „leicht verständlich“, sondern als Gegensatz zu „verwickelt“. Das Zweite aber, was zugunsten der von Einstein herbeigeführten Reform des Zeitbegriffes gesagt werden muß, ist, daß der Physiker eine solche Reform, eine Präzisierung, auch aus logischen Gründen, unabhängig von den praktischen Unstimmigkeiten des früheren Zustandes, fordern muß. Denn innerhalb der exakten physikalischen Wissenschaft dürfen nur Aussagen Raum finden, die einer experimentellen Nachprüfung zugänglich sind. Das ist aber die Aussage von der Gleichzeitigkeit zweier räumlich getrennter Ereignisse nur dann, wenn man ihr die Einsteinsche Deutung gibt — es sei denn, wir nehmen an, daß jemand noch einmal eine andere, uns heute unbekannt, Deutung finden werde.

Das, was ich Ihnen bisher dargelegt habe, ist einer der wichtigsten Leitgedanken der sogenannten „speziellen“ Relativitätstheorie, die heute etwa 15 Jahre alt ist. Sie hat sich in dieser Zeit so weit durchgesetzt, daß heute kaum noch ein Physiker ernsthaft an ihrer Berechtigung zweifelt. Es gibt auch keine Beobachtung, keine allgemeine Erfahrung und keine logische Überlegung, die dagegen spräche. Einzig und allein die naive Anschauung ist dagegen: Wir glauben unwillkürlich an das objektive Bestehen der absoluten Zeit, so wie es früher einmal selbstverständlich war, daß die Erde eine Scheibe sein müsse oder daß die Sonne sich um die Erde drehe. Und

was uns Kopernikus zugemutet hat, zu glauben, daß die ganze Erde mit ihren Bergen, Tälern und Flüssen, mit Städten, Häusern, Bäumen und Menschen wie ein rasender Wind, nein tausendmal rascher, durch den Weltenraum fegt, das zu glauben, scheint beinahe geringfügig gegenüber dem Verlangen, zuzugeben, daß, was dem einen als gleichzeitig erscheint, es dem andern nicht ist. Und doch muß ich jetzt hinzufügen, daß alles bisher Besprochene, die spezielle Relativitätstheorie, erst einen ganz geringfügigen Teil des beispiellos kühnen Gebäudes darstellt, das Einstein in den letzten Jahren als allgemeine Relativitätstheorie aufgeführt hat. Sie werden nicht von mir verlangen, daß ich mit gleicher Ausführlichkeit noch auf diesen Gegenstand eingehe. Nur einige Bemerkungen sollen Ihnen zeigen, daß nicht zu viel gesagt ist, wenn man diese Leistung der eines Kopernikus, eines Newton als ebenbürtig zur Seite stellt.

Die allgemeine Relativitätstheorie Einsteins kann man als die Ausführung eines Programms bezeichnen, das der geniale Physiker und Philosoph Ernst Mach vor 50 Jahren in einer kurzen Bemerkung seiner kritischen Geschichte der Mechanik angedeutet hat.¹⁾ Aber es bedurfte erst der scharfsinnigen Analyse des Raum- und Zeitbegriffes, wie ihn die spezielle Relativitätstheorie eingeleitet hat, und der Heranziehung schweren mathematischen Rüstzeuges, um hier über die ersten Andeutungen hinauszukommen. Die allgemeine Relativitätstheorie geht genau so vor wie die spezielle: ohne physikalische Hypothesen im engem Sinn einzuführen, gelangt sie durch eine Prüfung und Verschärfung der Grundbegriffe zur Erklärung bisher unaufgeklärter physikalischer Tatsachen, dort des Michelsonschen Phänomens, hier der viel umfassenderen und durchgreifenderen Erscheinung der Gravitation. Für uns im täglichen Leben, wo wir nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche übersehen, kommt die Gravitation darin zum Ausdruck, daß alle Körper, sich selbst überlassen, mit der gleichen Beschleunigung von 10 Sekundenmetern zur Erde fallen, oder, ruhend, einen bestimmten Druck auf die Unterlage ausüben. Beides schreiben wir der Anziehungskraft der Erde zu, einem unbekanntem Agens, das der Erde wie allen anderen Massen aufgeprägt sein soll. Allein wir könnten diese besondere Form von Gravitation unserer Umgebung auch anders erklären. Wir könnten, wenn uns nichts weiter als

1) Daß Mach selbst in seinem hinterlassenen Werk „Die Prinzipien der Optik historisch kritisch dargestellt“, Leipzig 1921 (S. VIII) die Relativitätstheorie für sich ablehnt, kann an dem historischen Tatbestand nichts ändern.

diese nächste Umgebung bekannt wäre, auch sagen: Vielleicht hat die Erde gar nicht diese Eigenschaft des Anziehens, sondern wir alle mitsamt dem Boden, auf dem wir stehen, befinden uns in einem Medium, das sich mit unveränderlicher Beschleunigung von 10 Sekundenmetern aufwärts bewegt. Dann müßten wir auch den gleichen Druck unter den Füßen spüren — man kennt ja vom Anfahren eines Aufzuges her diese Erscheinung — und jeder Körper, der im Medium frei ist, also in Wahrheit in Ruhe bleibt, müßte scheinbar mit 10 Sekundenmetern Beschleunigung abwärts fallen. Wenn wir diese Erklärungsweise nicht ohne weiteres annehmen können, so liegt das nur daran, daß sie sich den Gesamtverhältnissen der ganzen Erdkugel, geschweige denn denen des ganzen Sternsystems, nicht anpassen läßt. Wie sollen wir uns denn vorstellen, daß jeder Teil der Erde sich vom Zentrum fortbewegt? Nun, das sind eben sehr bedeutende Schwierigkeiten der Vorstellung, aber es gelingt, durch mathematische Präzisierung aller Begriffe der Raum- und der Zeitmessung ihrer tatsächlich Herr zu werden. Es läßt sich ein geschlossenes, widerspruchsfreies System aufbauen, in dem die Frage, ob Anziehung oder aufgeprägte Bewegung, überhaupt keinen Sinn mehr hat, so wenig wie im Bereich der speziellen Relativitätstheorie die Frage, welche Zeitmessung die absolut richtige ist. Es gibt überhaupt nur relativ gegeneinander bewegte Körper, und man kann sich jeden von ihnen, z. B. einen fallenden Stein, als ruhend denken, nur muß man dann ein entsprechendes Gravitationsfeld dazu annehmen. Zur üblichen Vorstellung der Gravitation gelangen wir nur durch die willkürliche Annahme, daß der Fixsternhimmel ruhend oder mindestens beschleunigungsfrei bewegt sei. Die Annahme empfiehlt sich dadurch, daß auf ihrer Grundlage die Darstellung der meisten Vorgänge verhältnismäßig einfach wird. Aber ihr kommt keine objektive Bedeutung zu, da es keinen absoluten Raum gibt, dem gegenüber wir den Fixsternhimmel beurteilen könnten.

Die wirkliche Durchführung dieser Theorie bereitet natürlich, wie ich schon andeutete und Sie sich wohl denken können, recht erhebliche mathematische Schwierigkeiten. Es ist aber bemerkenswert, daß die Hilfsmittel namentlich geometrischer Natur, die hier erforderlich waren, zum allergrößten Teil vorbereitet dalagen, entwickelt von Mathematikern wie Gauß, Lobatschewski, Riemann u. a., die kaum daran gedacht hatten, daß diese Teile ihrer mathematischen Deduktionen jemals für den Aufbau des physikalischen Weltbildes von ausschlaggebender Bedeutung werden könnten. Aber ich erwähne diese Dinge aus einem andern Grunde. Sie

hören oft in populären Darstellungen, nach der Relativitätstheorie sei die Zeit soviel wie eine imaginäre Raumgröße, oder noch krasser ausgedrückt, es hätte sich jetzt herausgestellt, die Welt sei nicht drei-, sondern vierdimensional mit einer imaginären Dimension usw. Das alles ist für den Laien völlig irreführend und ich stehe nicht an, Sie ausdrücklich vor derartigen Wiedergaben der Relativitätstheorie zu warnen. Es ist ja richtig, daß der Mathematiker bei der Durcharbeitung dieser Probleme mit Vorteil von den sog. imaginären Zahlen Gebrauch macht, aber das geschieht auch in ganz andern Fällen, z. B. beim Berechnen eines Wechselstrommotors, der doch wahrhaftig nichts „Imaginäres“ ist. Überhaupt darf man nie vergessen, daß die Mathematik Worte des gewöhnlichen Sprachgebrauches verwendet, um mit ihnen ganz bestimmte und wohldefinierte Begriffe zu bezeichnen, die meilenweit von dem entfernt sind, was man sonst unter dem betreffenden Wort versteht. Eine imaginäre Zahl verhält sich keineswegs zu einer reellen wie ein imaginäres Geschenk zu einem wirklichen und die vierte Dimension des Geometers hat nicht das geringste mit Zauberei zu tun, sie ist durch nichts von der dritten verschieden. Der rein gedankliche Kern der Einsteinschen Theorie, wenn er auch hohe Anforderungen an die Reife des Urteils und der Überlegungskraft stellt, läßt sich jedenfalls ohne diese Hilfsmittel darstellen, wie es Einstein selbst in der bekannten gemeinverständlichen Wiedergabe seiner Theorie getan hat.¹⁾

Sie werden aber vielleicht im Hinblick auf die hier angedeuteten Schwierigkeiten der allgemeinen Relativitätstheorie noch fragen, welchen Zweck es habe, eine derart schwierige, dunkle und fast unvorstellbare Erklärung für Dinge zu geben, die man ohnehin seit langem kennt und zu verstehen meint, wie die Gravitation. Darauf glaube ich, Ihnen eine sehr bestimmte Antwort geben zu können. Es ist wahr, die Astronomie, diese stolzeste aller Wissenschaften, erhebt schon seit Jahrhunderten den Anspruch, gewissermaßen alles zu wissen; sie berechnet die Bahnen der Gestirne auf tausend Jahre voraus und zurück, sie sagt jeder Vorbeigang, jede Finsternis auf die Sekunde genau voraus und entdeckt sogar neue, nie gesehene Sterne auf dem Wege der Rechnung. Aber die stolze

1) A. Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, Sammlung Vieweg Heft 38, 10. Aufl. 1921. Gut lesbare Darstellungen, die nicht viel mathematische Kenntnisse voraussetzen, sind auch die von E. Cohn, Physikalisches über Raum und Zeit (für die spezielle) und von L. Schlesinger, Raum, Zeit und Relativitätstheorie (für die allgemeine); beide erschienen in der vorliegenden Sammlung als Heft 2 bzw. Heft 5.

Königin der Wissenschaften hat auch ihre Sorgen, die nur weniger bekannt sind, und zu den ernstesten dieser Sorgen gehörte es, daß die nach der Newtonschen Theorie berechnete Bahn des Merkur, des sonnennächsten Planeten, nicht genau mit der beobachteten übereinstimmen wollte. Zahlreiche Hypothesen wurden aufgestellt, um diese allerdings geringe Abweichung zu erklären, so die, daß es in der Nähe der Sonne ungeheure, staubartig verteilte Massen gibt, die den Merkur ablenken. Legt man aber den Berechnungen statt des alten Gravitationsgesetzes das Gravitationsgesetz zugrunde, zu dem die allgemeine Relativitätstheorie führt, so ergibt sich genau die beobachtete Bahn, nämlich die Drehung der Merkurellipse um 43 Winkelsekunden pro Jahrhundert, während bei den übrigen Planeten und anderen Gestirnen zwischen den beiden Rechnungsverfahren kein Unterschied zutage tritt. Schon dieser Erfolg allein müßte genügen, um die neue Theorie sicherzustellen — man muß bedenken, daß sie ja ohne besondere Hypothese arbeitet —, aber es gibt noch einen viel glänzenderen, von dem in den letzten Wochen in den Zeitungen viel zu lesen war und den ich noch zum Schluß erwähnen will.

Wenn zwischen Gravitation und einer aufgeprägten Beschleunigungsbewegung kein Unterschied besteht, so kann sich in einem Gebiet, in dem Gravitation herrscht, ein Lichtstrahl nicht ganz geradlinig bewegen. Er muß ähnlich parabelförmig gekrümmt sein, wie es die Bahn eines Geschosses wäre, das mit Lichtgeschwindigkeit abgefeuert wird. Nun läuft das Licht etwa eine halbe Million mal so rasch als das schnellste Kleinkaliber, also ist es verständlich, daß von der Krümmung der Lichtstrahlen auf der Erde nicht viel zu sehen sein kann. Dagegen hat die Sonne mit ihrer dreihunderttausendmal größeren Masse eine ebenso oft vervielfachte Anziehung, woraus folgt, daß Lichtstrahlen, die am Sonnenrand vorbeigehen, schon merklich gekrümmt sein werden. Für uns muß das darin zum Ausdruck kommen, daß Fixsterne, die in der Nähe der Sonne erscheinen und bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet werden, um einen gewissen Betrag von der Sonne weggerückt erscheinen müssen gegenüber der Lage, die sie für uns annehmen, wenn die Sonne anderswo steht. Die Rechnung ergibt, daß ein unmittelbar am Sonnenrand vorbeigehender Sehstrahl um 1,7 Bogen Sekunden, also um etwa den zweihunderttausendsten Teil eines rechten Winkels, abgelenkt werden müßte. Anlässlich der letzten Finsternis, die am 30. Mai vorigen Jahres in Brasilien sichtbar war, hat die Royal Society of London eine Expedition unter Führung des Astronomen Eddington ausgerüstet, die mit aller wünschens-

werten Genauigkeit die Richtigkeit der Einsteinschen Voraussage bestätigt hat. Damit scheint für uns jeder Zweifel darüber behoben, daß wir in der allgemeinen Relativitätstheorie nicht nur ein logisch befriedigendes, sondern auch ein empirisch richtiges Weltbild erhalten haben.

Ich kann hier unmöglich auch nur leise andeuten, welche Fülle neuer Erkenntnisse uns die Relativitätstheorie auf allen Gebieten der Physik und der Chemie vermittelt. Auf ihre Bedeutung für die Atomtheorie werde ich noch kurz zurückkommen. Nur das eine lassen Sie mich noch erwähnen, daß sie auf die Frage nach den Grenzen der Welt in räumlichem sowie zeitlichem Sinne eine bestimmte, sehr eigenartige Antwort gibt, die freilich dem mit mathematischen Begriffsbildungen nicht Vertrauten wenig sagt. Nach Einstein ist die Welt in jeder Richtung hin endlich, aber nicht begrenzt; so etwa, wie Wesen, die völlig in einer Kugeloberfläche leben, ohne jemals um die Kugel ganz herum kommen zu können, ihre Welt auf Grund lokaler Messungen als eine endliche bezeichnen müßten, obschon sie nirgends auf eine Grenze stoßen. Für die klassische Newtonsche Himmelsmechanik ergeben sich hingegen unüberwindliche, unlösbare Schwierigkeiten, wenn man die Frage nach der Verteilung der kosmischen Massen in sehr großen Entfernungen usw. stellt. Ich erwähne dies nur, um anzudeuten, welche Weite der Fragestellung jetzt in den Bereich nüchterner physikalischer Forschung gerückt ist. Um aber meiner Aufgabe nachzukommen und noch etwas von dem zweiten erfolgreichen Forschungsgebiet der Gegenwart sagen zu können, muß ich Ihren Blick jetzt von den weitesten Bezirken der Anschauung auf den engsten räumlich beschränktsten Bereich, die kleinsten Teile der uns umgebenden Materie, lenken. Zunächst ein paar Worte über das Verhältnis der beiden Forschungsgebiete zueinander!

Die Relativitätstheorie ist fast vollständig innerhalb weniger Jahre in dem Kopfe eines einzigen Mannes entstanden und bildet demgemäß ein fast ideal abgerundetes Ganzes. Anders die Atomistik, die Lehre von der inneren Beschaffenheit der Materie, die, wie ich schon erwähnte, das gemeinsame Arbeitsgebiet der Gelehrten fast aller Länder ist und heute durchaus nichts Abgeschlossenes darstellt. Auch der Grad der Evidenz ist daher ein sehr verschiedener: während sich die zwar schwierigen, aber im höchsten Sinne einfachen Gedanken der Relativitätstheorie dem Kundigen geradezu als unumstößliche Gewißheit aufdrängen, besteht in der Theorie des Atombaus noch manche tiefgehende Meinungsverschiedenheit. Ferner: die Einsteinsche Theorie arbeitet, wie schon erwähnt, ohne eigent-

liche Hypothesen im engern Sinn und gewinnt ihre Ergebnisse vor allem durch scharfsinnige, logische Klärung der physikalischen Grundbegriffe. Die Atomistik dagegen besteht fast ausschließlich aus Hypothesen verschiedener Art, die sich allerdings auf ein großes Beobachtungsmaterial stützen, aber immerhin es nicht unmöglich erscheinen lassen, daß man einmal noch zu ganz, ganz anderen Auffassungen gelangen wird. In vielen Punkten kann man hier auch ehrlicherweise nur von Vermutungen sprechen. Das Ziel, dem die moderne Atomistik zustrebt, und dem sie sich in den letzten Jahren jedenfalls außerordentlich genähert hat, läßt sich so umschreiben: Man will die Grenzen der experimentellen Chemie nicht auch als Grenzen unserer Erkenntnis anerkennen; man will die herkömmlichen chemischen Elemente nicht als letzte Gegebenheiten ansehen; man nimmt die Frage der alten Alchemisten nach dem Urstoff der Materie, nach den Umwandlungen der Elemente ineinander, wieder auf. Es ist ein merkwürdiger Kreislauf der Dinge, wenn man bedenkt, daß in der heutigen Atomistik Zahlenharmonien, ja Zahlenmysterien eine Rolle spielen, die an die Ideen der Pythagoräer nicht weniger erinnern als an manchen Kabbalisten.

Der erste große Gedanke, der die moderne Entwicklung der Atomistik einleitete, war der von Boltzmann herrührende, durch den die Statistik Eingang in die Physik fand. Bis dahin hatte man die sog. Naturgesetze in strengsten Gegensatz zu sog. statistischen Gesetzmäßigkeiten gebracht. Wenn wir feststellen, daß nach den Aufzeichnungen der Standesämter bei uns jahraus jahrein mehr Knaben als Mädchen geboren werden, so folgt daraus bekanntlich noch gar nichts für irgendeinen bestimmten Fall: Man kann daraus nicht schließen, daß in jeder kinderreichen Familie mehr Knaben als Mädchen vorhanden sein müssen, noch weniger kann man über das Geschlecht einer bevorstehenden Geburt etwas aussagen. Dagegen meinte man, im Bereiche der physikalischen Erscheinungen sei es grundsätzlich anders: Wenn die Erde die Körper anzieht, dann fällt jeder Körper freigelassen stets zu Boden und keiner steigt auf. Boltzmann kam nun durch theoretische Überlegungen zu dem Schluß, daß es unter den Molekülen eines Gases durchaus so zugehe wie unter den Menschen. Wenn ein festes Zentrum da ist, das die Moleküle anzieht, so bewegen sich keineswegs alle schnurstracks auf das Zentrum zu, sondern es gibt immer welche, die stehen bleiben, die zurückgehen, wieder vor- und dann zurückgehen usw.. Nur der Durchschnitt oder, wie man sich ausdrückt, die große Masse folgt unmittelbar der Anziehung. Es

war ein unvergleichlich kühner Gedanke Boltzmanns, einem der umfassendsten Naturgesetze, dem sog. zweiten Hauptsatz der Thermodynamik — dem Satz von der Zunahme der Entropie — die Form einer statistischen Aussage zu geben. Man hat sich seither völlig an die Vorstellung gewöhnt, daß das Wachsen der Entropie nur das mit erdrückend großer Wahrscheinlichkeit, aber nicht mit völliger Sicherheit zu erwartende Kennzeichen des wirklichen Ablaufs einer Erscheinung sei. Boltzmann erlebte nicht mehr den zweifachen Triumph seiner vielbestrittenen Gedanken, den einige Jahre später die Arbeiten von Einstein und von v. Smoluchowski brachten. Der englische Botaniker Brown hatte schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts unter dem Mikroskop in organischen Flüssigkeiten sonderbare Bewegungen kleiner Körperchen entdeckt, die man sich nicht recht erklären konnte. Einstein zeigte nun, daß diese Bewegungen durch die wechselnden, statistischen Gesetzen gehorchenden Stöße der Moleküle bedingt seien, und der polnische Physiker v. Smoluchowski wies nach, daß alle die statistischen Gesetzmäßigkeiten, die Boltzmann für die Moleküle vorausgerechnet hatte, bei den Brownschen Partikelchen unmittelbar zuträfen. So war man von zwei Seiten zu einer gewissen Überzeugung von der objektiven Existenz der Moleküle und Atome gelangt.

Den nächsten mächtigen Anstoß bekam dieser Gedankenkreis durch die kühne Entdeckung, die Max Planck im Dezember 1900 bekanntgab und die seither fast alle physikalischen Untersuchungen durchsetzt hat. Man hatte vor Planck als selbstverständlich angesehen, daß alle Veränderungen in der Natur stetig vor sich gehen und daß ein Körper, dessen Bewegungsgröße sich vermindert, notwendig alle Zwischenwerte zwischen dem Anfangs- und Endwert stetig durchlaufen muß, so etwa wie eine Kugel, die an einer schiefen Ebene herabgleitet, zwischen der Ausgangs- und Endhöhe alle Zwischenlagen stetig durchläuft. Planck aber wurde bei seinen Untersuchungen über die Strahlungsgesetze zu der Annahme geführt, daß die submikroskopischen Träger der elektrischen Schwingungen nur sprungweise, unter Sprüngen von immer gleicher Größe, ihre Bewegungsgröße ändern können, so wie eine Kugel, die auf einer Treppe von Stufe zu Stufe springt. Ob oder wie weit der Übergang von einer Stufe zur andern nach den geläufigen Gesetzen der alten Mechanik beherrscht wird, ist noch völlig unklar. Wir wissen nur, daß man die Elektronen, die Bausteine der Atome, in stabilem Zustande nur auf diesen Stufen antrifft. Planck berechnete die Einheitsgröße der Stufe, das sog. Wirkungsquantum, das man seither bei allen derartigen Vorgängen in genau

gleichem Ausmaß wiedergefunden hat. Das Plancksche Wirkungsquantum, also das Maß der kleinsten möglichen Veränderung von Bewegungsgröße, bildet neben der früher erwähnten Vakuum-Lichtgeschwindigkeit eine der wenigen universellen Konstanten der Physik.

So haben wir nun eine Atomistik der Materie und eine Atomistik der Bewegungsgröße, dazu tritt an dritter Stelle die Atomistik der Elektrizität. Man war schon lange durch die Elektrolyse zu dem Begriff der Ionen gelangt, d. i. kleinster mit elektrischen Einheitsladungen versehener Materieteilchen. Aber das eigentliche Elektrizitätsatom bilden nicht die Ionen, sondern das materiefreie, negativ geladene Elektron, aus dem sich die Kathodenstrahlen und die sog. β -Strahlung der radioaktiven Substanzen zusammensetzen. Wenn man nämlich eine stark evakuierte Glasröhre an elektrische Spannung legt (eine sog. Geißlersche Röhre), so geht vom negativen Pol die Kathodenstrahlung aus, d. i. ein Strahl materiefreier negativer elektrischer Ladungen, die mit ungeheurer Geschwindigkeit den Innenraum der Röhre durchlaufen. Dort, wo sie auftreffen, an der Anti-Kathode, versetzen sie das getroffene Material in Schwingungen, die sich — genau gleich den Licht- oder elektrischen Schwingungen — weiter durch den Raum ausbreiten; das sind die Röntgenstrahlen, die sich von Lichtstrahlen nur dadurch unterscheiden, daß sie außerordentlich viel höhere Frequenz und entsprechend kleinere Wellenlänge haben. Natürliche Kathodenstrahlen sind, wie schon erwähnt, die von radioaktiven Substanzen ausgehenden β -Strahlen, die also auch aus Elektronen bestehen. Entgegengesetzten Charakter haben die von Goldstein entdeckten Kanalstrahlen, denen als natürlicher Vorgang die α -Strahlung der radioaktiven Substanzen entspricht, d. i. eine Strahlung, die aus positiv geladenen Materieteilchen, aus Ionen, sich zusammensetzt, — die große Entdeckung von Becquerel, Pierre und Marie Curie um 1900.

Diese bekannten Tatsachen mußte ich vorausschicken, um mich jetzt dem eigentlichen Hauptproblem der Atomistik, der Frage nach dem Aufbau der Materie, zuwenden zu können. Vergegenwärtigen wir uns einmal den Zustand, wie er auf diesem Gebiet bis etwa vor zwei Jahrzehnten, von der klassischen Chemie überliefert, bestand! Es war bekanntlich gelungen, mit den Verfahren der chemischen Analyse alle uns erreichbaren Stoffe in etwa 6 bis 8 Dutzend Urstoffe, nicht weiter zerlegbare Elemente, zu spalten. Jedes solche Element hatte seinen bestimmten Namen, dem man eine ganze Reihe physikalischer Eigenschaften hinzufügen konnte; an erster Stelle

das sog. Atomgewicht, das für Wasserstoff gleich eins gesetzt wurde, dann für Sauerstoff 16, für Eisen 26 betrug usw. Als eine besonders charakteristische Eigenschaft der Elemente hatte man ihr Spektrum erkannt, das immer entsteht, wenn man den Stoff durch Glühen zum Leuchten bringt und das Licht durch ein Prisma in seine Einzelfarben auflöst. So zeigt, wie bekannt, Natrium eine auffallende gelbe Linie, Wasserstoff eine ganze Reihe von charakteristischen Linien, die sich vom äußersten Rot bis ins Ultraviolett erstrecken. Da jeder Lichtfarbe eine bestimmte Schwingungszahl entspricht, so wußte man also, daß die einzelnen Elemente Schwingungen von ganz bestimmten Frequenzen aussenden. All dies nahm der Chemiker oder Physiker als gegeben hin, ohne an eine Systematik oder kausale Erklärung denken zu können. Es war derselbe Zustand, wie er auf dem Gebiete der mechanischen Erscheinungen vor Galilei herrschte. Damals sah man Steine zur Erde fallen, das Wasser bergab fließen, Vögel in der Luft fliegen, die Gestirne um die Sonne kreisen; aber wenn man auch die Bewegungen beobachtete und zum Teil (nämlich die der Gestirne) aufzeichnete, zu dem fundamentalen Gedanken, alle diese Erscheinungen aus einigen wenigen Prinzipien zu erklären, ihre Kausalität zu erforschen, zu diesem Gedanken, den dann erst Newton wirklich durchführte, hatte sich als erster Galilei erhoben. Wir sehen nun in unsern Tagen, wie ein neues, ganz gewaltiges Erscheinungsgebiet, die Vielfältigkeit der chemischen Elemente, in den Bereich der kausalen Erklärung einbezogen wird. Den letzten entscheidenden Beitrag, der gestattete, alles bis dahin Gefundene zusammenzufassen, gab der dänische Physiker Niels Bohr, der im Jahre 1913, fast gleichzeitig übrigens mit ähnlichen, nicht ganz so weit gehenden Ideen seines Lehrers Rutherford, überzeugend darzulegen wußte, daß jedes einzelne Atom eines Elementes nichts anderes sei als ein winziges Planetensystem, bestehend aus einem zentralen Materiekern als Sonne, der von einer Anzahl Elektronen als Planeten mit ungeheurer Geschwindigkeit umkreist wird; wobei die verschiedenen Elemente sich nur durch Anzahl und Größe dieser Miniaturgestirne unterscheiden. Das Bild, das man sich danach vom materiellen Aufbau der Welt macht, will ich Ihnen jetzt zum Schluß, unter Hinweglassung aller noch ungeklärter Einzelheiten, kurz vorführen.

Die Gesamtheit der Elemente bildet nicht mehr ein loses Durcheinander, sondern ein wohlgeordnetes System von 92 Plätzen, einschließlich von 5 Plätzen, die der Systematik wegen erforderlich waren, aber noch nicht von bekannten Elementen besetzt sind. Die

Zahl 92 selbst ist dabei nicht wesentlich, da man annehmen muß, daß sich noch weitere unentdeckte Elemente nach dem 92. anschließen werden. Innerhalb dieses natürlichen Systems folgen die Elemente ungefähr, aber nicht genau, in der Reihenfolge ihrer Atomgewichte aufeinander; das System beginnt mit dem leichtesten, Wasserstoff, und endet mit dem zurzeit schwersten, Uran, aber an einzelnen Punkten sind kleine Umstellungen notwendig. Die Reihe zerfällt nun in Abschnitte oder Perioden, deren Längen, wenn man die letzte noch unvollständige Periode wegläßt, durch die Zahlen 2, 8, 8, 18, 18, 32 — d. s. die doppelten Quadrate von 1, 2, 3 und 4 — bestimmt sind. Man weiß noch nicht, welche Bedeutung dieser geradezu kabbalistisch anmutenden Beziehung etwa zukommt. Die erste Periode wird gebildet von den beiden leichtesten Elementen Wasserstoff und Helium mit den Atomgewichten 1 und 4. Jedes dieser Elemente besteht nach der von Bohr begründeten Auffassung aus einem positiv geladenen Kern und einem Ring, auf dem beim Wasserstoff ein, beim Helium zwei Elektronen kreisen.¹⁾ Der Kern ist beim Wasserstoff einfach, beim Helium doppelt positiv geladen, die Geschwindigkeit der Umlaufbewegung und ihr Bahnradius sind teils durch das elektrostatische Grundgesetz, teils durch die Größe des Planckschen Wirkungsquantums bestimmt. Die zweite Periode der Elemente, beginnend mit Lithium. Nr.3, umfassend u. a. Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, endend mit Nr. 10, enthält Elemente, deren Kern 3 bis 10fach positiv geladen ist und von 3 bis 10 einfach negativ geladenen Elektronen in zwei Kreisbahnen umkreist wird. Mehr als 10 Elektronen sind in zwei Bahnen nicht unterzubringen. Die nächste Achter-Periode umfaßt die Elemente mit der Stellenzahl 11 bis 18, enthaltend je einen 11 bis 18fach geladenen Kern und 11 bis 18 einfache Elektronen, die in drei Bahnen kreisen. Und so nimmt man weiter an, daß von Stelle zu Stelle im natürlichen System die Vielfachheit der Kernladung sowie die Anzahl der Planet-Elektronen um je eine Einheit wächst, während jedesmal, wenn man in eine neue Periode tritt, eine neue Elektronenbahn angesetzt wird. Die Durchmesser der Elektronenringe entsprechen dabei genau den aufeinanderfolgenden Vielfachen des einfachen Wirkungsquantums. Die Atomgewichte betragen annähernd, aber nicht genau, das Doppelte der Stellenzahl. In dieser Gestalt sieht heute der Physiker die Gesamtheit der chemischen Elemente. Die zusammengesetzten Moleküle der nicht

1) Daß gerade beim Helium noch ungeklärte Schwierigkeiten auftreten, die auf die Notwendigkeit einer Modifikation der Theorie hinweisen, muß bei der schematischen Übersicht unberücksichtigt bleiben.

einfachen Körper sind dann ganze Sternsysteme, die mehr oder weniger schon ein Abbild unseres kosmischen Weltsystems bilden.

Sie werden nun mit Recht Rechenschaft darüber fordern, auf welche zwingende Erfahrungen und Beobachtungen sich diese sicherlich nicht sehr nahe liegenden Aufstellungen stützen. Denn die Vorstellung, daß jedes der Trillionen von Atomen im Zentigramm eines Stoffes ein System aus vielen bewegten Teilen sei, ist der naiven Anschauung ebenso schwierig wie der neue Zeitbegriff der Relativitätstheorie. Ich kann hier unmöglich alle einzelnen Tatsachen aufzählen, die allmählich so zusammengewachsen sind, daß sie dem vorgeführten natürlichen System der Elemente einen hohen Grad von Gewißheit verliehen haben. Ich müßte damit beginnen, wie die merkwürdig gezackten Bahnen der Elektronen einer aus ihrer Röhre befreiten Kathodenstrahlung uns zuerst gelehrt haben, daß die Materie „durchlöchert“ sei, daß also die Atome aus Kernen und einer materiefreien Umgebung bestehen müssen; dann zeigen, wie man aus der Zerstreung der α -Strahlen in der Materie die Zahl der Elektronen berechnen lernte, die jedem Atom zukommen; wie endlich aus der Umwandlung der radioaktiven Elemente infolge der Aussendung von α - und β -Strahlen sich zwingende Schlüsse über die Kernladung ergaben. Die Einteilung der Elemente in sieben Perioden, innerhalb deren sich gewisse Eigenschaften regelmäßig wiederholen, stammt schon aus dem Jahre 1870 von Mendeljeff und Lothar Meyer. Aber alles das ist nicht so entscheidend wie das Verhalten unserer Atommodelle gegenüber dem Spektrum. Ich sagte schon vorhin, daß die Linien des bei der Verbrennung eines Körpers sichtbar werdenden Spektrums, oder die Schwingungszahlen, die den Spektralfarben entsprechen, ein besonders wichtiges Charakteristikum der einzelnen Elemente bilden. Man hat neuerdings das Studium des Spektrums noch erfolgreich ausdehnen können, nachdem es, dank der schönen Entdeckung v. Laues, gelungen ist, auch das Röntgenlicht, das die Elemente ausstrahlen, spektral zu zerlegen. Diese Röntgenspektren zeigen nun, zum Unterschied von den optischen, so klare und einfache Gesetzmäßigkeiten, daß sie allein schon dazu ausreichen, wenigstens bei den leichteren Elementen, das System lückenlos aufzustellen. Aber die Krönung des ganzen Gebäudes erfolgte erst durch die im Prinzip von Bohr eingeleitete Berechnung der Spektrallinien aus den Verhältnissen des atomaren Planetensystems. Wenn ein Atom Licht, also Schwingungen, aussenden soll, so geschieht es nach Bohr dadurch, daß ein Elektron aus einer Kreisbahn in die nächstfolgende Bahn überspringt, deren Entfernung

durch das Plancksche Wirkungsquantum bestimmt ist; die einzelnen Linien des Spektrums lassen sich hiernach aus den Energiedifferenzen der einzelnen möglichen Bahnkurven berechnen, und zwar hat man es dabei nur mit einfachen Kombinationen aus kleinen ganzen Zahlen zu tun. Der Erfolg dieser Berechnungsweise ist überraschend, sie stimmt dort, wo sie bisher durchgeführt wurde, geradezu vollkommen mit der Beobachtung überein. Statistik, Quantentheorie und Elektronentheorie feiern hier unbestrittene Triumphe. Es ist nur noch hinzuzufügen, daß man nach Sommerfeld die letzten Feinheiten der Spektrallinien-Struktur herausbekommt, wenn man bei der Berechnung der Planetenbewegung statt der klassischen Mechanik die Mechanik der Relativitätstheorie zugrunde legt. Als den neuesten, erst in letzter Zeit sichergestellten Erfolg der Atombau-Theorie muß ich schließlich erwähnen, daß es dem Engländer Rutherford in den letzten Monaten tatsächlich gelungen ist, das Stickstoffatom durch heftiges Bombardement mit α -Teilchen einer radioaktiven Substanz in Wasserstoff und einen Rest von geringerem Atomgewicht zu zerlegen; damit wären denn auch praktisch gewisse Ziele der Alchemisten erreicht.

Lassen Sie mich hiermit die kurzen Andeutungen über den gegenwärtigen Stand der Lehre vom Atombau abschließen, wenn ich mir dabei auch bewußt bin, Ihnen ein nur sehr flüchtiges und ungenaues Bild gegeben zu haben. Aber ich hoffe, daß es mir gelungen ist, Sie von einem zu überzeugen, nämlich davon: daß hier ein weites und fruchtbares Feld der Forschung in den letzten Jahren erschlossen wurde und daß nicht zu viel gesagt ist, wenn man von dem ferneren Ausbau dieser Forschungsarbeiten eine ganz grundlegende Erweiterung unserer Naturerkenntnis erwartet. Vielleicht erhebt sich bei Ihnen die Frage nach der praktischen Bedeutung dieser Lehren, die Frage, ob die Technik sich von ihnen wesentliche Förderung versprechen darf. Ich möchte da nicht zu großem Optimismus raten, wenn auch sicher heute schon manches erreicht ist: ich denke an die sehr erfolgreiche Berechnung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmen fester Stoffe, an die Ansätze zur Berechnung der Kompressibilität, also einer Festigkeitseigenschaft der Körper — und schließlich lehrt die Geschichte der Wissenschaften, daß keine, noch so abstrakte Theorie auf die Dauer ohne fruchtbare Einwirkung auf die Technik bleibt. Aber in dem ganzen Zusammenhange, in dem ich mir erlaubt habe, Ihnen diese Ideen der Atomistik und früher die der Relativitätstheorie hier vorzuführen, fällt der Frage nach der unmittelbaren praktischen Anwendung der Theorie auf die Technik keine entscheidende Be-

deutung zu. Ein anderer Gesichtspunkt drängt sich hier auf und gibt mir Veranlassung zu einer Schlußbemerkung, mit der ich an den Ausgangspunkt meines Vortrages wieder anknüpfe.

Die Technischen Hochschulen verdanken ihr Entstehen oder mindestens ihre heutige Stellung dem Zeitalter technischen Aufschwunges, das, wie wir gesehen haben, in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Auswirkung gekommen ist. Sie sind ein Kind der Zeit, in der die Entwicklung der Technik alle anderen kulturellen Bestrebungen mehr oder weniger in den Hintergrund gedrängt hat. Wenn diese Zeit jetzt im Ausklingen ist und wieder anders gerichtete geistige Arbeit zur ausschlaggebenden Geltung im geistigen Leben gelangt, so mag man sich fragen, was aus den Hochschulen wird, die jetzt, gewissermaßen aus dem umfriedeten und auf ihre Förderung bedachten Vaterhaus herausgewachsen, ihren Wert in der Welt bewähren sollen. Es liegt nahe, sich zu überlegen, welche Gesichtspunkte der hier eröffnete Ausblick auf die Arbeitsaufgaben der nächsten Zeit für die Zukunft der Hochschulen abgibt. Nun muß man hier nur den historischen Werdegang bedenken: die Technischen Hochschulen sind im Laufe der Jahrzehnte aus niederen gewerblichen Fachschulen durch allmähliche Erweiterung ihres wissenschaftlichen Gesichtskreises emporgestiegen. Dieser Aufstieg ist nicht abgeschlossen, oder er müßte es wenigstens nicht sein. Denn die wissenschaftlichen Grundlagen, auf denen die Technik ruht, sind die Naturwissenschaften, und reine Willkür wäre es, hier Grenzen zu ziehen zwischen dem, was noch praktisch verwendbar ist, und dem anscheinend „rein Theoretischen“. An den gewaltigen Aufgaben, die den nächsten Jahrzehnten in dem Ausbau der neuen naturwissenschaftlichen Forschungsgebiete erwachsen, sollten die Technischen Hochschulen ihren gebührenden Anteil nehmen. Sie brauchen nicht beiseite zu stehen bei der Lösung von Problemen, die aller Voraussicht nach in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses der nächsten Zeit treten werden. Es heißt durchaus nicht, die Alltagsaufgaben der Hochschule verkennen, wenn man ihr eine weitere Entwicklung in der Linie ihrer älteren Geschichte, also in der einer weiteren Vertiefung und Ausgestaltung ihres naturwissenschaftlichen Geistes wünscht. Das ganze menschliche Leben ist schließlich ein fortdauerndes Wechselspiel zwischen Interessen und Ideen; vorübergehend oder im Alltagspiegel gesehen mögen die Interessen die Oberhand haben, auf die Dauer fruchtbar sind nur die Ideen.

Zusätze.

Seit diese Worte gesprochen wurden, sind knapp eineinhalb Jahre vergangen; aus dieser Zeit ist manches zu verzeichnen, was sich mit dem hier behandelten Gedankenkreis berührt. Es seien nur einige kurze Bemerkungen gestattet.

1.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie hat die natürliche Grundlage, auf der sie ruht: die Übereinstimmung ihrer Folgerungen mit dem Ablauf wirklich beobachteter Erscheinungen, neu zu befestigen vermocht. Aus der Annahme, daß die Gravitation nichts anderes als eine Erscheinungsform von Relativbewegung ist (s. S. 12), ergibt sich notwendig der Schluß, daß das Zeitmaß auf verschieden großen, also mit verschiedener Gravitation ausgestatteten Gestirnen nicht das gleiche sein kann. Auf der Sonne mit ihrer dreihunderttausendmal größeren Masse müssen alle Vorgänge verlangsamt erscheinen, wenn auch nur um etwa zwei Millionstel ihrer irdischen Zeitdauer. Daraus folgt, daß die Spektrallinien, die ein in der Nähe der Sonne strahlender Körper aussendet, und deren Lage innerhalb des Spektralbildes ja durch die Strahlungsfrequenz, d. i. die Zahl der in der Zeiteinheit ausgesandten Lichtwellen, bestimmt wird, etwas verschoben erscheinen müssen gegenüber der Lage, die ihnen zukommt, wenn derselbe Körper auf der Erde strahlt. Die Verschiebung ist auf die langsame, also rote, Seite des Spektrums zu gerichtet und heißt daher die Rotverschiebung. Zwar beträgt ihr Ausmaß in Längeneinheiten, selbst für die äußersten violetten Linien, nur etwa ein Milliardstel eines Millimeters, aber diese Größe ist unseren heutigen Meßverfahren gerade eben noch zugänglich. Wenn auch die Untersuchungen hier noch keineswegs abgeschlossen sind, konnten die Bonner Physiker Grebe und Bachem aus eigenen Beobachtungen und einer sorgfältigen Prüfung aller anderen Angaben den Schluß ziehen, daß die von der Einsteinschen Theorie geforderte „Rotverschiebung“ wirklich vorhanden ist. Sobald erst einmal, woran nicht zu zweifeln ist, unsere Beobachtungsmittel genügend verfeinert sein werden, wird damit ein neuer Weg zur Bestimmung der Größe und Masse entfernter Gestirne offen stehen!

Dieser nüchterne Erfolg spielt freilich keine große Rolle in dem Urteil der Menge, der, bei uns und in den anderen Ländern, die Namen Einsteins und der Relativitätstheorie zu Schlagworten geworden sind, mit denen sich keine Vorstellung, oder zumindest

keine klare, verbindet. Wir wollen hier schweigen von den Ausschreitungen des vergangenen Sommers, in dem gleich häßliche Worte gefallen sind im Kampfe für und wider eine Sache, die ihrem Wesen nach von jedem Kampfe weit entfernt sein sollte. Einer kurzen Auseinandersetzung bedarf nur die Frage: Warum und von welchen Gesichtspunkten aus beschäftigt sich der Nichtfachmann mit diesen Dingen, mit welchem Recht werden sie in weitere Kreise gebildeter Menschen getragen? Muß man jenem namhaften und sehr angesehenen Physiker zustimmen, der — nicht ohne Beziehung auf die erste Veröffentlichung meines Vortrages — den Ingenieuren den Rat gibt, sich vorerst einmal um die Relativitätstheorie gar nicht zu kümmern, es werde, wenn die Fragen einmal praktische Bedeutung erlangen sollten, das Verständnis für sie schon von selbst entstehen?

Nun, die Einsteinsche Relativitätstheorie ist voll und ausschließlich eine physikalische Theorie, d. h. sie gibt einen Rahmen, eine Vorschrift für die Deutung wahrnehmbarer Erscheinungen, sie lehrt uns — wie die Erfahrung zeigt mit bestem Erfolge — neue derartige Erscheinungen vorauszusagen, andere dem Gesamtbild der Physik besser anzupassen. Sie ist keine Philosophie, keine Weltanschauung, auch nicht Teil oder Grundlage einer solchen, so wenig dies z. B. die Newtonsche Gravitationstheorie oder die Hertzsche elektrodynamische Optik war. Sie ist auf der andern Seite auch keine rein praktische Vorschrift, die geeignet wäre, das Tun und Lassen des Einzelnen unmittelbar zu bestimmen oder sonst in das praktische Leben irgendwie einzugreifen. Daher sind zur Entscheidung über ihren Wert oder Unwert, zur Annahme oder Ablehnung, allein und ausschließlich die Physiker berufen. Es bedeutet nichts, wenn der „gesunde Menschenverstand“ die Theorie für unannehmbar erklärt, und nicht viel mehr, wenn die eine oder die andere philosophische Schule sich heute mit ihr nicht abfinden kann.

Die Physik ist Sache der Physiker und, was in ihr Geltung hat, wird nicht von den Philosophen und nicht von dem Kreis der übrigen Gebildeten bestimmt. Die Philosophie, soweit sie sich überhaupt mit derartigen Dingen befaßt, also vor allem die Erkenntnislehre, muß die Relativitätstheorie als ein Gegebenes hinnehmen wie jeden anderen Teil der theoretischen Physik (oder der übrigen Wissenschaften) und mag versuchen, mit ihr gedanklich fertig zu werden; daß sie auf dem besten Wege dazu ist, zeigen mehrere neue Schriften, und die Geschichte der Philosophie läßt uns keinen Zweifel darüber, daß das Ziel dieses Anpassungsvorganges einmal

erreicht werden wird. Der „gesunde Hausverstand“ aber hat im Laufe der Jahrhunderte schon soviel Wandlungen durchgemacht — er glaubt heute, daß die Erde keine ebene Scheibe, daß die Sterne keine am Himmelsgewölbe aufgesteckten Lichter sind, ja daß die Erde sich um ihre Achse dreht — er wird sich ganz bestimmt einmal auch der Vorstellung anbequemen, daß Zeit- und Längenmessung nicht unabhängig von Bewegungsvorgängen sind — und was sonst etwa von der Theorie gefordert werden mag.

Ist auf diese Weise die Rolle, die dem Nichtphysiker der Relativitätstheorie gegenüber zufällt, stark eingeschränkt (im Vergleich zu dem, was gelegentlich in Anspruch genommen wird), so folgt doch aus dem Gesagten nicht: non liquet. Gewiß soll hier nicht der abgeschmackte Standpunkt vertreten werden, daß „jeder Gebildete etwas“ von der Relativitätstheorie wissen müsse. Es gibt Lebenskreise der verschiedensten Art, es gibt Künstler, Gelehrte anderer Gebiete, Männer des täglichen Wirkens, die keinerlei Berührung mit exakt-wissenschaftlichen Forschungen haben. Wenn diese Leute sich mit „populärer“ Einstein-Literatur abmühen, so tragen sie nicht zu ihrer Bildung bei, sondern folgen, bewußt oder unbewußt, einer oberflächlichen und unverständigen Mode. Denn Bildung besteht nicht in der künstlichen Aneignung entfernter Kenntnis-Kolonien, sondern in dem stetigen Ausweiten der Grenzen des mit dem Berufsleben in Zusammenhang stehenden Wissens und Könnens. Darum ist es auch völlig verkehrt, wenn man meint, an den technischen Hochschulen durch Einrichtung von Vorlesungen über das klassische Altertum oder spekulative Philosophie die Hörer „bilden“ zu müssen. Der Ingenieur ist geildet, wenn er von mathematischen, naturwissenschaftlichen und wirtschaftlichen Dingen mehr weiß, als zur unmittelbaren Bewältigung seiner Tagesarbeit erforderlich ist, wenn er ruhige und sichere Herrschaft über den so erweiterten Besitz an Kenntnissen und Anschauungen ausübt und damit in die Lage kommt, seine eigene Berufsarbeit in einem umfassenderen Rahmen menschlicher Betätigung zu sehen.

Dies war der Gesichtspunkt, von dem ich mich hatte leiten lassen, als ich versuchte, in meinem Vortrage vor den berufenen Vertretern der technischen Wissenschaften ein flüchtiges Bild der die heutige Naturforschung beherrschenden Gedanken zu zeichnen. Zudem bin ich der Ansicht, daß der Fortschritt der Wissenschaft daran hängt, daß ihre Ergebnisse über den engsten Kreis der an ihr Schaffenden hinaus verbreitet werden. Denn die Wissenschaft wächst wie die wilde Frucht im Walde: Nur wenn der Same weit-

hin und vielfältig ausgestreut ist, kann man hoffen, daß er hier oder dort wieder aufgeht.

2.

Eine viel ruhigere und stillere, aber nicht weniger erfolgreiche Entwicklung ist inzwischen dem andern großen Gebiet neuzeitlicher Naturforschung zuteil geworden: der Lehre von dem inneren Aufbau der Materie. Hier ist das Interesse der Allgemeinheit noch nicht in solchem Maße in Anspruch genommen, obwohl es sich um Dinge handelt, die der unbefangenen Anschauung aufs höchste wunderbar erscheinen, vielen unserer Denkgewohnheiten ernstlich widersprechen müssen.

Mit der mehr als hundertjährigen Herrschaft des chemischen „Elements“ als der unzerlegbaren und unwandelbaren letzten Einheit aller Materie ist es endgültig vorbei. Die im Vortrag schon erwähnte Zerlegung des Stickstoffes durch Rutherford hat sich bestätigt und ist näher aufgeklärt worden. Gewiß hatte schon die Entdeckung der radioaktiven Strahlung gelehrt, daß gewisse Elemente zerstörbar seien, aber dort lag ein natürlicher, durch menschliche Willkür nicht beeinflusbarer Zerfall vor, der zudem auf die schwersten Elemente von verwickeltem Aufbau, auf die sog. radioaktiven, beschränkt blieb. Rutherford ging von der Beobachtung aus, daß α -Strahlen, die durch Luft gesandt werden, auf viel größere Entfernung Wirkungen ausüben als ihrer Reichweite im luftleeren Raum entspricht. Er fand, daß durch den in der Luft vorhandenen Stickstoff, und nur durch diesen, die Übertragung bewirkt wird und daß die weitreichende Strahlung in zwei Bestandteile gesondert werden kann. Die eine Strahlenart besteht aus Wasserstoffkernen (positiven Elektronen), die Träger der andern sind Atomkerne eines noch unbekanntes Elementes, das vorläufig als X_3 bezeichnet wird. So gelangt man zu dem Schluß, daß der Stickstoffkern durch die auftretenden α -Teilchen gespalten wird. Durch weitere Untersuchungen und Überlegungen wird die Vermutung nahegelegt, daß die Atomkerne aller bekannten Elemente sich aus Wasserstoff-, Helium- und X_3 -Kernen zusammensetzen. Der Aufbau der Atome aus den „Urkernen“ würde dann ähnlich vorzustellen sein wie der der Moleküle aus den Atomen.

Bevor die Chemie des 19. Jahrhunderts ihre auf eine ununterbrochene Reihe von Erfolgen gestützte Herrschaft fest begründet hatte, war bekanntlich der Gedanke, daß alle Stoffe sich auf einen einheitlichen Urstoff zurückführen lassen, nichts Fremdes. Be-

sondere Förderung erfuhren die darauf gerichteten Überlegungen durch den Umstand, daß die Atomgewichte der bekannten Elemente auffallend nahe bei ganzen Vielfachen des Wasserstoffgewichtes liegen. So haben beispielsweise unter den 24 leichtesten Elementen zwölf eine Atomgewichtszahl (bezogen auf Wasserstoff) mit der ersten Dezimale 0, und nur vier weichen um mehr als ein Zehntel von der nächsten ganzen Zahl ab. Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung hat schon früher ein hohes Maß von Wahrscheinlichkeit dafür ergeben, daß die Atomgewichtszahlen eine nur durch gewisse „zufällige Streuung“ überdeckte Reihe von ganzen Zahlen darstellen. Neuerdings hat nun F. W. Aston den tatsächlichen Nachweis erbracht, daß die „reinen“ Atome stets genau ganze Vielfache des Wasserstoffgewichtes (oder richtiger eines Sechzehntel des Sauerstoffgewichtes) zum Atomgewicht haben. Aber z. B. Chlor, für das die Zahlentafeln der Chemiker die stärkste Abweichung von der Ganzzahligkeit, nämlich ein Atomgewicht von 35,45 aufweisen, besitzt zweierlei Atome mit den Atomgewichten 35 und 37, die stets in solchem Mengenverhältnis vereint sind, daß das Misch- oder „Verbindungsgewicht“ 35,45 entsteht. Genau so verhält es sich mit allen anderen Stoffen, deren Atomgewichte nicht ganze Zahlen sind: Sie sind Mischungen zweier oder mehrerer „isotoper“ (d. h. an gleicher Stelle, nämlich im System der Elemente, stehender) Stoffe. Dabei stellt man sich vor, daß zwei isotope Atome gleiche Kernladung (vgl. S. 20), also gleiche Differenz von positiven und negativen Elektronen besitzen; die Zahl der positiven, von der allein das Atomgewicht abhängt, kann aber noch verschieden sein. Gewiß eröffnet sich da noch manche Frage, die der Beantwortung harret, die wir aber hier nicht einmal andeuten können, ohne uns zu weit in Einzelheiten zu verlieren.

Bedeutende und zum Teil noch unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet der Ausbau der Bohrschen Planetentheorie der Atome in ihren Einzelzügen. Hier ist ein entscheidender Fortschritt durch Bohr selbst angekündigt in einem Briefe, den dieser Forscher kürzlich an die englische Zeitschrift „Nature“ gerichtet hat. Er teilt darin mit, daß es ihm gelungen sei, die wesentliche Frage nach der Stabilität bestimmter ausgezeichneter Elektronenbahnen zu lösen. Über den Weg, auf dem er dahin gelangt ist, sagt Bohr noch nichts, es bleibt die ausführliche Veröffentlichung der Untersuchung abzuwarten. In den Ergebnissen zeigt sich eine gewisse Abweichung von dem Bilde, das man sich bisher von dem Bewegungszustand der Atome gemacht hatte. Aus den Verhältnissen des periodischen Systems hatte man geschlossen, daß beim Aufstieg von den leichteren

Elementen zu den schwereren jedesmal, wenn gewisse Elektronenzahlen erreicht werden, eine einschneidende Änderung der Atomkonfiguration eintritt. So nahm man an (S.20), daß die ersten beiden Planet-Elektronen im Normalzustand des Atoms auf einer Einquantenbahn kreisen, die den Kern umschließt wie die Erdellipse die Sonne, dann die nächsten acht Elektronen auf einer ähnlichen, größeren Zweiquantenbahn, die folgenden achtzehn auf einer dritten usf. Nach den neuen Ansichten Bohrs gibt es zweierlei Zweiquantbahnen, dreierlei Dreiquantbahnen und, was das wichtigste zu sein scheint, diese Bahnen liegen nicht wie ebene konzentrische Ringe, verlaufen auch nicht auf ineinander geschachtelten Schalen, sondern sie sind vielfach verschlungene Kurven, so daß auch die höherquantigen Bahnen sich stellenweise dem Kern mehr nähern als die niederquantigen. Nach Angabe von Bohr ist es gerade diese mehrfache Durchdringung der Kurven und die dadurch herbeigeführte gegenseitige Einwirkung der Elektronen aufeinander, durch die die Stabilität bewirkt wird.

Bei all diesen Theorien — Spaltung des Stickstoffkernes, Auflösung der Mischelemente in Isotopen, Erklärung der Stabilität der Elektronenbahnen — bewegen wir uns mit Sicherheit, ja mit völliger Selbstverständlichkeit in einem Vorstellungsbereich, der sich von dem Gebiet eigentlicher sinnlicher Erfahrung sehr bedeutend entfernt hat. Wird es jemals möglich sein, in einem Gramm Kupfer das billionenmal wiederholte Spiel von neunundzwanzig Planeten, die um eine Sonne kreisen, wirklich zu „beobachten“? Was heißt überhaupt noch „sehen“, „beobachten“, welche Bedeutung kommt diesen Begriffen heute zu, bei dem ungeheuer verwickelten Aufbau eines modernen physikalischen Experimentes? Ohne Zweifel wird die Frage, ob es die Atome „wirklich gibt“, sich wie so viele andere ähnliche, schließlich dadurch lösen, daß unsere Begriffsbildungen (von dem, was existiert oder nicht existiert) sich allmählich wandeln und klären werden, in einer Richtung, die wir heute kaum vorausahnen, sicher nicht genau umschreiben können. In einem andern Punkte haben wir in den letzten Jahrzehnten schon manches gelernt, gerade in Zusammenhang mit den Aufgaben, von denen hier die Rede ist, in der Frage nämlich, was unter Kausalität und kausaler Erklärung zu verstehen ist.

Die klassische Physik, die nach dem Vorbild der von Galilei und Newton begründeten Mechanik geschaffen war, hat einen ganz bestimmten Kausalbegriff ausgebildet, dessen Schema so aussieht: Wenn der augenblickliche Zustand einer irgendwie abgeschlossenen Gruppe von Körpern, mit allen Werten der mechani-

schen und sonstigen Konstanten und Zustandsvariablen gegeben ist, so muß sich der Ablauf der in diesem Augenblick beginnenden Zustandsänderung eindeutig daraus berechnen lassen. Die äußere Form, deren sich die Physik bediente, um dieses Schema zu erfüllen, waren die sog. Differentialgleichungen, durch die alle physikalischen Fragen auf rein mathematische zurückgeführt erschienen. Auch die Relativitätstheorie hat an dieser Gesamtauffassung nichts geändert, sie ordnet sich völlig dem alten Plane unter, ja sie erscheint sogar — worauf hier nicht näher eingegangen werden kann — infolge ihrer starken Gebundenheit eher als eine „überklassische“ denn eine nachklassische Physik. Aber, wie im Vortrag schon erwähnt, die Wendung Boltzmanns zur statistischen Betrachtungsweise leitete eine völlige Wandlung ein. Wir sagen heute: Wenn ein Körper zu strahlen beginnt, so lösen sich in einzelnen seiner Atome in regelloser, vom Zufall beherrschter Folge, Elektronen aus Bahnen höherer Energie und münden in niederquantige Bahnen ein. Jeder elektrische, jeder Wärme-, jeder Lichtvorgang ist eine Massenerscheinung, d. h. das Gesamtergebnis einer im einzelnen gar nicht übersehbaren oder verfolgbaren Vielheit von kleinen Vorgängen, so etwa wie die Bevölkerungszunahme in einem Lande das Resultat unzählig vieler teils willkürlicher Handlungen, teils menschlich nicht beeinflussbarer Umstände ist. Eine solche Auffassung kann mit dem alten Kausalitätsbegriff nur künstlich in Einklang gebracht werden: Man kann sich, wie Boltzmann es tut, vorstellen, daß die Bewegung der einzelnen Gasmolekel von den Gesetzen der klassischen Mechanik beherrscht wird und eindeutig bestimmt wäre, wenn wir den molekularen Anfangszustand und alle wirksamen Einflüsse kennten; aber es fehlt uns jede Vorstellung davon, wie wir jemals diese Kenntnis zu erlangen vermöchten. Von dem bisherigen Standpunkt der klassischen Physik aus muß die Quantentheorie und alles, was damit zusammenhängt, als unlösbares Rätsel erscheinen. Wer die Geschichte der physikalischen Erkenntnis zurückverfolgt, wird sich der Einsicht nicht verschließen, daß hier eine wesentliche Änderung unserer Denkweise, des ganzen Schemas der „physikalischen Erklärung“, unerbittlich gefordert wird und sich allmählich vorbereitet. Ist diese einmal eingetreten, dann wird man auch erkennen, daß Statistik und Quantentheorie unser physikalisches Weltbild noch weit durchgreifender umzugestalten berufen sind, als es die Relativitätstheorie, trotz ihrer scheinbar so kühnen Neuerungen, getan hat.

3.

Nun noch einige Worte über den entwicklungsgeschichtlichen Grundgedanken, der den Ausgangspunkt des Vortrags bildete und der mehr sein sollte als nur eine Einkleidung des Hauptinhaltes. Vielfach bin ich dahin mißverstanden worden, als wollte ich der heutigen Technik jede wesentliche Weiterbildungs- oder Ausgestaltungsmöglichkeit absprechen. Was wir hier unter Technik verstehen, ist etwa die Gesamtheit der auf Beschaffung und Ausnutzung von Gütern gerichteten, menschlichen Tätigkeiten. Technik in diesem Sinne hat es immer gegeben, sie kann nie verschwinden, wenn nicht ganz außergewöhnliche Verhältnisse (wie etwa jetzt in Rußland) eintreten, und bei der ungeheuren Vermehrung und Verdichtung der europäischen Bevölkerung muß sie hier auch stetige Steigerung erfahren. Aber eine ganz andere Frage ist es, welchen Raum die Gedankenwelt der Technik in dem Bewußtsein der Allgemeinheit einnimmt; hierin ist ein Wandel der Zeiten unverkennbar. Im Augenblick der Beendigung des Krieges konnte es den Anschein haben — und in dieser Richtung sind mir immer wieder Einwände gemacht worden —, als würden die Aufgaben gesellschaftlicher Neuordnung, das Problem der sozialen Gerechtigkeit oder sachlicher gesprochen, die Güterverteilung gegenüber der Gütererzeugung in den Vordergrund allen Interesses treten. Aber das völlige Ausbleiben neuer, wirklich fruchtbarer Gedanken auf diesem Gebiete zeigt, besser noch als das allmähliche Abflauen der tatsächlichen Bewegungen, daß wir jedenfalls jetzt noch nicht in das Zeitalter der „sozialen Reformation“ eingetreten sind.

Weit schwieriger ist die andere, die positive Seite des Satzes zu untersuchen: Erst spätere Jahrzehnte werden Klarheit darüber bringen, welche Bedeutung den wissenschaftlichen Entdeckungen unserer Zeit beizumessen war. Es ist ja auch möglich, daß sie die Grundlage neuer, heute noch völlig ungeahnter technischer Fortschritte werden, so wie man die Begründung der Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert als die „Vorstufe“ der Technik des 19. anzusehen pflegt. Dann würde es sich hier nur um ein Wechselspiel handeln ähnlich dem, das in kleinem Maßstab zwischen „Theorie und Praxis“ auf jedem Einzelgebiet beobachtet werden kann. Aber diese Anschauung, so sehr sie sich auch dem von beschränkterem Gesichtskreis aus Urteilenden empfehlen mag, scheint mir größerem geschichtlichen Geschehen wenig angepaßt. Geschichte im Großen ist kein einsinniges Fortschreiten, etwa nur überdeckt von kleinen wechselnden Schwankungen; sie zeigt ein Geboren-

werden, Wachsen und Vergehen wie das Leben des Einzelnen, der Familien, der Völker. Ungeheure Gedankenwelten sind entstanden, haben sich zu hoher Blüte entwickelt und sind verfallen: Wo sind heute die Götter Griechenlands, was lebt vom Geist der alten Römer in den heutigen Bewohnern Roms?

Eine bestimmte Antwort auf die Frage nach der zukünftigen Entwicklung unserer geistigen Welt hat kürzlich Oswald Spengler zu geben versucht. Man mag über seine Zuständigkeit in Einzelfragen der Naturwissenschaften oder der Technik denken wie man will, niemand, der den Lauf der Welt zu übersehen bemüht ist, kann an einem Prophetentum vorübergehen, das durch den mächtigen Widerhall, den es gefunden hat, sich selbst bestätigt. Denn ein Zeitalter, das sich seiner Lebenskraft und seiner Zukunft sicher fühlte, würde den Propheten seines Unterganges wirkungslos verklingen lassen. Hohe Wahrscheinlichkeit spricht zumindest dafür, daß der seit fünf Jahrhunderten aufgetürmte Bau einer ganz auf Erkenntnis und Leistung gestellten abendländischen Kultur in den nächsten Jahrhunderten zum Abbruch kommt. Von diesem Standpunkt aus müßte man Relativitätstheorie und moderne Atomistik zu den letzten Bausteinen rechnen, die das Gebäude zu krönen berufen sind. Dem widerspricht es auch nicht, daß wir, namentlich auf dem zweiten dieser Forschungsgebiete, noch ein weites und fruchtbares Arbeitsfeld offenstehen sehen; wenn es auch allmählich Abend wird, bleibt noch auf Generationen hinaus genug Raum zum Schaffen.

Merkwürdigerweise hat man in den Darlegungen Spenglers eine Äußerung des Pessimismus erblicken wollen. Als ob der Mensch, der älter wird und in dem Bewußtsein des einmal eintretenden Todes handelt, deswegen ein Pessimist wäre! Und auch der Ausblick auf Ziel und Erben, den man dem Einzelleben als Trost gelten läßt, muß uns als Gesamtheit nicht fehlen. Sind uns denn heute, nachdem die Kulturwelt des klassischen Altertums seit fast zwei Jahrtausenden als lebender Organismus erloschen ist, die Werke der griechischen Kunst und Lebensweisheit völlig verloren? So, meine ich, können wir uns wohl zufrieden geben bei der Aussicht, daß späte Nachkommen, wenn einmal eine Weiterbildung unserer heutigen abendländischen Kultur, eine Fortführung der exakten Wissenschaften in unserem Sinn gar nicht mehr in Frage kommt, mit ähnlichen Gefühlen der Dankbarkeit und Verehrung an unsere Zeit denken werden, wie wir sie heute dem klassischen Altertum entgegenbringen. Nichts ist verloren, was reinen Herzens, was um der Sache selbst willen getan ist!

Von Prof. Dr. *R. v. Mises* erschien ferner:

Theorie der Wasserräder. Geh. M 10.80

Inhalt: Einleitung. — Die Differentialgleichungen der Flüssigkeitsbewegung. — Die Bestimmung der Strömung durch Randbedingungen. — Integralsätze über Druck und Arbeitsleistung. — Die Strömung im Kreisrad und die Schaufelformen.

„Es ist mit Freuden zu begrüßen, daß der Verfasser stets sein Augenmerk darauf gerichtet hält, die Ergebnisse seiner durch mathematische Schlußfolgerungen unterstützten Untersuchungen den wirklich auftretenden Erscheinungen anzupassen.“ (*Rundschau für Technik u. Wirtschaft.*)

Elemente der technischen Hydromechanik. 2 Teile. I.: Mit 72 Fig. Steif geh. M. 18.—. II. in Vorbereitung.

„Das Buch von Mises entspricht seinen Bedürfnissen, wie es dringender kaum gedacht werden kann, dem Bedürfnis des Studierenden, sich in dem Irrgarten, der aus Theorie und Empirie so bunt gemischten hydraulischen Wissenschaft zurechtzufinden und das Wesentliche vom Unwesentlichen, das Brauchbare vom Unbrauchbaren zu unterscheiden.“ (*Archiv der Mathematik u. Physik.*)

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht über Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik auf das gesamte Kulturleben. Von Prof. Dr. *W. Launhardt.* 4. Aufl. Mit Abb. (ANuG Bd. 23.) Kart. M. 6.80 geb. M. 8.80

Physik und Kulturentwicklung durch techn. u. wissenschaftl. Erweiterungen der menschl. Naturanlagen. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. *Otto Wiener.* 2. Aufl. Mit 72 Abb. im Text. 8. Geh. M. 18.—, geb. M. 26.40

„Es ist konzentriertes Wissen, das uns hier geboten wird, die Zusammenfassung der Erkenntnisse und der bisher erzielten höchsten Leistungen auf allen Gebieten der Naturwissenschaften und Technik.“ (Heilos.)

Physik und Erkenntnistheorie. Von Prof. Dr. *E. Gehrcke.* Mit 4 Fig. im Text. Geh. M. 24.—, geb. M. 30.—

Die Schrift, die sich an den Physiker, wie den Philosophen, aber auch den Mathematiker wendet, kommt dem allgemeinen Verlangen nach Naturphilosophie, nach Zusammenfassung des Einzelwissens auf den von ihr behandelten Gebieten entgegen.

Das Wesen der Materie. Von Prof. Dr. *G. Mie.* 4. Aufl. I.: Moleküle und Atome. Mit 25 Fig. II : Weltäther und Materie. (ANuG Bd. 58/59.) Kart. je M. 6.80, geb. je M. 8.80

Behandelt die Grundlehren der modernen Physik, die zum Ausbau und zur Begründung der Atom- und Molekulartheorie geführt haben und zeigt die Wege und Versuche auf, die zu der heutigen Erkenntnis des Aufbaues der körperlichen Welt geführt haben.

Atom- und Quantentheorie. Von Stud.-Rat Dr. *P. Kirchberger.* 2 Bände. (Math.-phys. Bibl. Bd. 45/46.) Kart. je M. 5.—. [In Vorb. 21.]

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat *M. Geitel.* 2. Aufl. Mit Abb. (ANuG Bd. 28.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

„... Man erfährt unglaublich viel des Wissenswerten und kann deshalb die Arbeit sowohl Technikern als auch technisch interessierten Laien bestens empfehlen.“ (*Deutsche Techn.-Ztg.*)

Populäre Astrophysik. Von Dr. *J. Scheiner,* weil. Prof. am astrophysikal. Observatorium z. Potsdam. 3. Aufl., neubearb. v. Dr. *K. Graff,* Prof. a. d. Sternwarte in Bergedorf b. Hamburg. Mit zahlr. Taf. u. Fig. Geh. ca. M. 75.—, geb. ca. M. 85.—

Die durchgreifende Neubearbeitung des Werkes hat die neuesten Forschungsergebnisse berücksichtigt, die sich nicht mehr nur auf die Physik der Gestirne beziehen, sondern auch in das Gebiet der Astronomie übergreifen. Insbesondere ist auf die äußerst wichtigen Entdeckungen entsprechend ausführlich eingegangen worden, welche die Beziehungen zwischen den Spektren und der absoluten Helligkeit der Sterne festgestellt haben. Durch klare Gliederung des Stoffes und zahlreiche Abbildungen ist dafür gesorgt, daß die Anschaulichkeit überall zur Geltung kommt und so auch weiteren Kreisen ein Einblick in das Schaffensgebiet der neueren Himmelskunde gegeben wird.

Astronomie. Unter Redaktion von Geh. Reg.-Rat Dr. *J. Hartmann,* Prof. a. d. Univ. Göttingen. Bearb. von *L. Ambronn, Fr. Boll, A. v. Flotow, F. K. Ginzel, K. Graff, P. Guthnick, J. Hartmann, J. v. Hepperger, H. Kobold, S. Oppenheim, E. Pringsheim.* Mit 44 Abb. im Text u. 8 Tafeln. [VIII u. 638 S.] Lex. 8. 1921. (Die Kultur der Gegenwart hrsg. von Prof. Dr. *P. Hinneberg,* Berlin. Teil III, Abt. III, Bd. 3.) Geh. M. 114.—, geb. M. 138.—

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

EINFÜHRUNG IN DIE RELATIVITÄTSLEHRE

Raum, Zeit und Relativitätstheorie. Gemeinverständliche Vorträge von Prof. Dr. L. Schlesinger. Mit 2 Tafeln u. 5 Fig. (Abh. u. Vortr. a. d. Geb. d. Math., Naturw. u. Techn. Heft 5) . . . M. 8.40

Die Abhandlung, aus einem Vortrag hervorgegangen, der sich an Gebildete aller Stände wendet, behandelt die allgemeine und spezielle Relativitätstheorie. Sie setzt nur ein Mindestmaß an mathematischen Kenntnissen voraus und bedient sich vorwiegend graphischer Methoden.

Physikalisches über Raum und Zeit. Von Prof. Dr. E. Cohn-4. Auflage. (Abhandlungen und Vorträge aus dem Gebiete der Mathematik, Naturwissenschaft und Technik. Heft 2.) Geh. . . . M. 4.80

„... Jeder, der sich für die modernsten und revolutionärsten Theorien der Physik interessiert, wird die kleine Schrift mit Nutzen lesen.“ (Augsburger Postzeitung.)

Einführung in die Relativitätstheorie. Von Dr. W. Bloch. 3., verb. Aufl. Mit 18 Fig. (ANuG Bd. 618.) Kart. M. 6.80, geb. M. 8.80

Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, dem Laien die der Relativitätstheorie zugrundeliegenden Gedanken, die heute auf das wissenschaftliche Weltbild umgestaltend einwirken, in ihrer geschichtlichen Entwicklung verständlich zu machen.

Das Relativitätsprinzip. Leichtfaßlich entwickelt von Prof. A. Angersbach. (Math.-phys. Bibl. 39.) Kart. M. 5.—

Ausgehend von der klassischen Mechanik, behandelt das Büchlein zunächst den schon in dieser auftretenden Begriff der Relativität, geht auf die Grundfrage „Ruhender oder bewegter Äther“ ein und erörtert dann die hierauf fußenden Einsteinschen Sätze, ihre Begründung und ihre Folgerungen.

Das Relativitätsprinzip. Eine Einführung in die Theorie von Prof. Dr. A. von Brill. 4. Aufl. Mit 6 Figuren. (Abhandlungen u. Vorträge aus dem Gebiete der Math., Naturwissenschaften und Technik. Heft 3.) M. 8.40

„Es ist konzentriertes Wissen, das uns hier geboten wird, die Zusammenfassung der Erkenntnisse und der bisher erzielten höchsten Leistungen auf allen Gebieten der Naturwissenschaft und Technik, ein Spiegelbild des Kulturfortschrittes der Menschheit, soweit es mit Physik zusammenhängt.“ (Heliol.)

Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen.

Von Prof. Dr. H. A. Lorentz, Prof. Dr. A. Einstein, Prof. Dr. H. Minkowski. Mit 1 Beitrag von H. Weyl, Anmerk. v. A. Sommerfeld, u. Vorwort v. O. Blumenthal. 4. verb. Aufl. (Fortschr. d. math. Wissenschaften in Monographien. Heft 2.) [Erscheint November 21.]

Führt die historische Entwicklung der Theorie an Hand der Originalarbeiten vor Augen. Dank dem Entgegenkommen Prof. Einsteins konnten in der neuen Auflage die wichtigsten seiner Arbeiten über die Relativitätstheorie im Zusammenhang zum Abdruck gebracht werden, so daß die Schrift nunmehr zu einem für das Verständnis der Theorie und ihrer Bedeutung grundlegenden Quellenwerk geworden ist.

Das Relativitätsprinzip. Drei Vorlesungen gehalten in Teylers

Stiftung zu Haarlem. Von Prof. Dr. H. A. Lorentz. Bearbeitet von Prof. Dr. W. H. Keesom. Geh. M. 6.—

Behandelt nach einer kurzen histor. Einleitung das Einsteinsche Relativitätsprinzip, die darauf fußende Relativitätsmechanik sowie das Einsteinsche Äquivalenzprinzip. In einem Nachtrage werden einige spezielle Fragen mathematisch weiter ausgearbeitet.

Relativitätstheorie. Von Dr. W. Pauli jun. Sonderabdruck a. d. Enzyklopädie d. Math. Wissenschaften. Mit einem Vorwort von Geh. Hofrat Prof. Dr. A. Sommerfeld. . . Geh. M. 40.—, geb. M. 50.—

Die vorliegende Darstellung der Relativitätstheorie paßt sich ihrer ganzen Anlage nach in den Rahmen der Mathematischen Enzyklopädie ein. So werden die mathematischen Zusammenhänge in voller Allgemeinheit und Abstraktion dargestellt, während andererseits entsprechend den Zielen des physikalischen Enzyklopädie-Bandes die physikalische Anwendung im Vordergrund steht und die Möglichkeit der empirischen Prüfung nie aus dem Auge verloren wird.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

WISSENSCHAFT UND HYPOTHESE

Sammlung von Einzeldarstellungen aus dem Gesamtgebiete der Wissenschaften mit bes. Berücksichtigung ihrer Grundlagen u. Methoden, ihrer Endziele u. Anwendungen

Die Sammlung will die in den verschiedenen Wissensgebieten durch rastlose Arbeit gewonnenen Erkenntnisse von umfassenden Gesichtspunkten aus im Zusammenhang miteinander betrachten. Die Wissenschaften werden in dem Bewußtsein ihres festen Besitzes in ihren Voraussetzungen dargestellt, ihr pulsierendes Leben, ihr Haben, Können und Wollen aufgedeckt. Andererseits aber wird in erster Linie auch auf die durch die Schranken der Sinneswahrnehmung und der Erfahrung überhaupt bedingten Hypothesen hingewiesen.

- I. Wissenschaft und Hypothese. Von Henri Poincaré. Deutsch von L. und F. Lindemann. 3. Aufl. Geb. M. 30.—
- II. Der Wert der Wissenschaft. Von Henri Poincaré. Deutsch von E. u. H. Weber. Miteinem Bildnis. 3. Aufl. Geb. M. 30.—
- III. Mythenbildung u. Erkenntnis. Eine Abhandlung über die Grundlagen der Philosophie. Von G. F. Lipps . . . Geb. M. 24.—
- IV. Die nichteuklid. Geometrie. Histor.-kritische Darstellung ihrer Entwicklung. Von R. Bonola. Deutsch von H. Liebmann. 2. Auflage. Geh. M. 36.—, geb. M. 42.—
- V. Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Von G. H. Darwin, Deutsch von A. Pockels. 2. Aufl. Mit 52 Abb. Geb. M. 42.—
- VI. Das Prinzip der Erhaltung der Energie. Von M. Planck. 4. Aufl. Geh. M. 30.—
- VII. Grundlagen der Geometrie. Von D. Hilbert. 3. Aufl. [Unter d. Presse 1921.]
- VIII. Geschichte der Psychologie. Von O. Klemm Geb. M. 36.—
- IX. Erkenntnistheoret. Grundzüge der Naturwissenschaften u. ihre Beziehungen zum Geistesleben der Gegenwart. Von P. Volkman. 2. Aufl. Geb. M. 36.—
- X. Wissenschaft und Religion in der Philosophie unserer Zeit. Von E. Boutroux. Deutsch von E. Weber. Mit Einführungswort v. H. Holtzmann. Geb. M. 30.—
- XI. Probleme der Wissenschaft. Von E. Enriques. Deutsch von K. Grelling. 2 Teile. I. Wirklichkeit und Logik. Geb. M. 24.—. II. Die Grundbegriffe der Wissenschaft. Geb. M. 30.—
- XII. Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften. Von P. Natorp. 2. Aufl. Geh. M. 54.—, geb. M. 62.—
- XIII. Pflanzengeographische Wandlungen der deutschen Landschaft. V. H. Hausrath. Geb. M. 24.—
- XIV. Das Weltproblem vom Standpunkte d. relativist. Positivismus aus. Von J. Petzoldt. 3. Aufl. Geh. M. 33.—, geb. M. 40.—
- XV. Wissenschaft und Wirklichkeit. V. M. Frischeisen-Köhler. Geb. M. 42.—
- XVI. Das Wissen der Gegenwart in Mathematik u. Naturwissenschaften. Von E. Picard. Deutsch von F. u. L. Lindemann Geb. M. 30.—
- XVII. Wissenschaft u. Methode. Von H. Poincaré. Deutsch von F. u. L. Lindemann Geb. M. 30.—
- XVIII. Probleme der Sozialphilosophie. Von R. Michels . . . Geb. M. 18.—
- XIX. Ethik als Kritik der Weltgeschichte. Von A. Görland. Geb. M. 27.60
- XX/XXI. Die Grundlagen der Psychologie. Von Th. Ziehen. Teil I u. II. Geh. je M. 24.—, geb. je M. 30.—
- XXII. Physik u. Erkenntnistheorie. Von E. Gehrcke. M. 24.—, geb. M. 30.—

In Vorbereitung befinden sich:

E. Czuber, Die philosophischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung. — W. Johannsen, Vererbungslehre. — W. Wien, Vorlesungen über neuere Probleme der theoretischen Physik. 2. Aufl. —

Ausführlicher Prospekt unentgeltlich und postfrei vom Verlag in Leipzig, Poststr. 3

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG

10 BERLIN

Preisänderung vorbehalten