

Alle Rechte
auch das der Übersetzung
vorbehalten

Americ. Copyright

by

G. Braunsche Hofbuchdruckerei und Verlag
Karlsruhe i. B. 1923



Einführung. Die Frage nach dem letzten Grund aller Dinge und der mannigfachen Erscheinungen im Naturgeschehen bildet den gemeinsamen Ausgangspunkt für jegliche Philosophie und Naturwissenschaft, bildet aber auch das Ziel, in dem sich beide wieder zusammenfinden müssen, wenn sie verschiedenen Lauf genommen haben, oft durch trotzige Hindernisse auseinanderweichend, oft in ruhigem Strome nebeneinander hinziehend, oft aus der nämlichen Nebenquelle gespeist und bald da, bald dort herüber und hinüber gegenseitige Einflüsse sendend. Heute fügen sich in unserem Wissen von der Stoffwelt und vom Wirken der Naturkräfte allerlei Einzelheiten, die der Strom der rasch vorwärtsdringenden Forschung scheinbar wahllos herbeigeschafft hat, zu einer sinnvollen Einheit zusammen, wie man sie kaum einmal für möglich gehalten, wohl aber schon oft ersehnt hat. Wer sich den klaren Blick nicht durch Träumereien trüben läßt, weiß freilich, wie außerordentlich weit wir auch heute noch von der „letzten Wahrheit“ entfernt sind, gilt doch der alte Erfahrungssatz, daß die Wissenschaft für jedes gelöste Rätsel zwei neue eintauscht, auch heute noch in vollem Umfang, wenn wir uns mit dem neuesten Rüstzeug der ganzen Naturforschung an Urfragen der Menschheit heranwagen und den Schleier, der über dem Wesen und dem Aufbau der Materie liegt, aufzuheben versuchen. Statt weniger Grundfragen, wie sie sich vor mehr als zwei Jahrtausenden den jonischen Philosophen, den ersten Naturforschern, zudrängten, türmt sich heute vor

uns eine in ihrer Vielgestaltigkeit erschreckende Fülle auf, aus der wir einen lückenlosen, in sich geschlossenen Aufbau unserer Naturauffassung zu schaffen versuchen. Zwar hat es unsere Naturwissenschaft „herrlich weit gebracht“, aber trotz allem müssen wir für den Fragenbereich, in dem wir uns bewegen wollen, mit einiger Entsagung dem Worte von du Bois-Reymond Recht geben: „Vor der Frage, was der Stoff sei, stehen wir noch so ratlos, wie die alten jonischen Philosophen“.

Greift der Laie, der die heute geltenden Anschauungen vom Aufbau der Materie kennen lernen will, zu einer der zahlreichen „kurzen“ Darstellungen ihres „letzten Standes“,

Dann hat er die Teile in seiner Hand.
Fehlt leider! nur das geistige Band.

Er wird nie und nimmer die inneren Zusammenhänge der Einzelfragen zu erkennen vermögen, wird nie und nimmer verstehen, warum sich der Menschengeist gerade zu diesen und nicht zu anderen Ansichten durchgerungen hat, wird nie und nimmer durch eigenes Mitdenken verspüren, warum neue Anschauungen zum Lichte drängten und Altes, gesichert Geglaubtes fallen konnte, fallen mußte. Was dort verborgen bleibt, wird uns offenbar, wenn wir dem Pfade der geschichtlichen Entwicklung folgen, bei bedeutenden Forschern Halt machen und einen Blick in ihre Geisteswerkstätte tun. Manches Werkstück, mit liebevoller Sorgfalt geschaffen, nach harten Proben umgeformt und verbessert, muß schließlich verworfen werden, manches erfüllt, ohne besondere Mühen zu verursachen, sofort seinen Zweck und manches, mit dem man nicht sogleich den gewünschten Erfolg hatte, läßt sich, wenn seine Zeit einmal gekommen ist, aufgerichtet in das Ganze einfügen. Physik und Chemie — durch mathematische Fassungen gefestigt — liefern die Arbeitsverfahren, und oft läßt sich kaum erkennen, von welcher Seite

der Hauptanteil stammt. Meist ist er bei der Physik zu suchen, denn alles neue chemische Wissen, soweit es an Grundfragen rührt und sich nicht in Facheinzelheiten zersplittert, wird durch neue physikalische Erkenntnisse eingeleitet. So zeigen sich die Wegabschnitte durch die Marksteine im Werden der Physik deutlich abgegrenzt. Den Blick immer auf das Ziel gerichtet, unbeirrt durch die Lokungen seitabliegender Gebiete, durcheilen wir mit Riesenschritten den Weg zum neuen Wissen vom Feinaufbau der Materie.

Die Materie. Was man seit den Zeiten des Aristoteles „Materie“ nennt, ist dem philosophisch ungeschulten Menschen, der aus dem täglichen Leben nur Einzeldinge kennt, durchaus gedankenfremd. In der belebten und toten Natur vollzieht sich vor seinen Augen ein steter Wechsel, eine reiche Fülle von Veränderungen. Er kennt das Wasser als kalte oder warme Flüssigkeit, als klares oder trübes hartes Eis, als luftartigen unsichtbaren Dampf, er kennt aber nicht „das Wasser“. Wenn er der Belehrung zugänglich ist, wird man ihm verständlich machen können, daß ein an sich unveränderlicher Träger aller Veränderungen vorhanden sein muß, die Materie, ein Etwas als Ursache unserer Sinneseindrücke, zu dem man gelangt, wenn man sich allmählich alles, was den Einzeldingen als Veränderliches anhaftet, wegdenkt. Die Geschichte philosophischen Erkennens zeigt, wie sich schon hierbei die Geister erheblich scheiden und zu keiner einheitlichen Deutung kommen, wenn sie dem nachgehen, was unzerstörbar im Wechsel der Erscheinungen beharrt. Liegt das Wesen der Materie in der Raumerfüllung, in der Masse, in der Beweglichkeit, im Beharrungsvermögen, in der Teilbarkeit oder in was sonst? Je nach seiner Grundeinstellung wird der Forscher im einen oder andern das eigentliche Wesen der Materie zu erkennen glauben, möglicherweise aber

1*

auch die Frage nach ihrem Dasein völlig verneinen. Für die Naturwissenschaften muß, wenn sie nicht sofort den Boden unter den Füßen verlieren wollen, das Materiendasein unbestreitbar gelten, ja sie sprechen — vor allem in der Physik und ihren Schwesterwissenschaften — von den Eigenschaften des rätselvollen Etwas und überlassen es dem Philosophen, sich den Kopf darüber zu zerbrechen, was man sich eigentlich unter Materie denken kann oder denken soll. Nach Ernst Mach ist die Frage nach dem Wesen der Materie überhaupt „eine Verkehrtheit“, die gar nicht Gegenstand der Naturwissenschaft sein sollte, weil dadurch in diese die Metaphysik einziehe. Für ihn gilt (1900): „Die Materie ist kein bedingungslos Beständiges. Was wir Materie nennen, ist ein gewisser gesetzmäßiger Zusammenhang der Elemente (= Empfindungen)“.

Die Physik ist heute wieder auf dem besten Wege zum Dynamismus, wenn sie das rätselhafte, ungewordene und nicht zerstörbare Etwas, das sich immer unvermehrt und unvermindert im Raume erhält und nur den Ort wechselt, statt „Materie“ lieber „Energie“ tauft. Gar mancher wird der Meinung sein, daß man sich damit der Lösung der Frage nicht um Haaresbreite genähert hat, daß vielmehr nur eine unerquickliche Begriffsspalterei vorliegt. Zeigt doch ein Blick in die Schriften, die den Grenzfragen nachgehen, wie der Energiebegriff noch einer einheitlichen, klaren Deutung ermangelt.

Das Problem der Masse. Dem Laien, der sich mit den Grundfragen der Physik vertraut machen will, bietet kaum ein Begriff so viele Schwierigkeiten wie derjenige der „Masse“, zumal da die zur Aufklärung herbeigeholten Lehrbücher bei aller sonstigen Vortrefflichkeit gerade in diesem Punkte sich einer auffallenden, recht unliebsamen Kürze befleißigen. Wer „eine Masse Geld“ besitzt, ist reich, verfügt

über eine „große Menge Geld“. In diesem Sinne gilt der Massenbegriff in der Physik überhaupt nicht! Der Laie läßt auch „Masse“ und „Gewicht“ in gleicher Bedeutung gelten und nimmt dadurch den Standpunkt der Physik vor Newton ein.

Aus der täglichen Erfahrung kennt der Laie keine gewichtslose Masse oder, besser gesagt, er beachtet sie nicht, wenn er mit ihr zu tun hat. Und darin liegt nun eine Großtat von Newton, daß er erkannte: Was wir Gewicht nennen, ist gar nichts dem Körper Eigentümliches und Unveränderliches, es ist vielmehr etwas von anderen Körpern ihm Aufgezwungenes, etwas durchaus Veränderliches. Der Wanderer, dem das Gewicht des Rucksacks lästig wird, spürt dies nicht, während er von einem Felsblock zur Erde niederspringt. Während der Dauer des Sprunges hat der Rucksack für den Wanderer zwar kein „Gewicht“, wohl aber noch „Masse“ (als Materienmenge). Wenn wir ein gut ausgeglichenes und möglichst reibungslos gelagertes Schwungrad mit der Hand in Drehung versetzen, bemerken wir keineswegs das Gewicht, sondern lediglich die Masse als Widerstand gegen die aufgezwungene Bewegung. Erhalten wir einen kleinen Luftballon gerade in der Schwebelage, so verrät er nichts von seinem Gewicht, dagegen von seiner Masse, wenn wir ihn etwa durch einen Druck der Hand eine Geschwindigkeit aufzwingen.

Ein Körper hat am Pol unserer Erde (wegen ihrer Abplattung) ein größeres Gewicht als am Äquator und besitzt im vollkommen leer gedachten Weltraume (also unendlich weit von anderen Körpern gedacht) überhaupt gar kein Gewicht mehr. Eine Eigenschaft aber besitzt er in diesem Grenzfalle noch: er setzt nämlich, falls er ruht, dem Aufzwingen einer Geschwindigkeit und, falls er schon in Bewegung ist, einem Ändern seiner Geschwindigkeit, in der er sonst beharrt, einen Widerstand entgegen. Damit stehen wir vor der Hauptsache, daß wir nämlich die Masse nur im

Beharrungswiderstand gegen eine bewegende Kraft erkennen. Es gibt demnach Masse mit Gewicht und Masse ohne Gewicht oder, wie man auch sagt, wägbare und bloß träge Masse.

In die Physik hat Newton den Begriff der Masse mit der Festsetzung „*quantitas materiae*“ (Materienmenge) eingeführt, damit aber neue gedankliche Schwierigkeiten geschaffen, die vielfach scharfen Tadel weckten, weil man in dieser Festlegung eigentlich eine Definition der Dichte erblickte. Bei der sog. klassischen Mechanik im Sinne Newtons tritt die Masse als ein sich stets gleichbleibender Faktor in die Formeln und Rechnungen ein. Als Maß für die Menge der Materie muß die Masse unveränderlich wie die letztere sein; damit tritt aber eine neue Forderung auf, für die man aus Vernunftgründen eigentlich keine Berechtigung herzuleiten vermag. Dies (schon lange gefühlsmäßig geahnt) hat sich in unseren Tagen klar durchgesetzt, man findet deshalb im Bau der heutigen physikalischen Forschung jene Forderung nicht mehr. Hier gilt es, völlige Klarheit zu schaffen. Für die Bewegungsvorgänge, wie wir sie auf der Erde und im Welt- raum beobachten, hat die von Newton begründete klassische Mechanik zwei Jahrhunderte hindurch eine rechnerische Bewältigung erlaubt, die im allgemeinen (namentlich bei den Vorausberechnungen in der Astronomie) befriedigte, aber doch gelegentliche Schwierigkeiten zunächst unbeachtet ließ. Scharfe Denker (z. B. Mach, H. Poincaré) beleuchteten von der philosophischen Seite aus, was hier widerspruchsvoll erschien, bis man schließlich erkannte, daß Newtons Mechanik in vielen Fällen zu falschen oder (im günstigeren Falle) zu angenäherten Ergebnissen führt. Nach der den Umsturz einleitenden Relativitätstheorie, mit der der Name von Einstein für alle Zeiten verknüpft sein wird, kann es eine größere Geschwindigkeit als diejenige des Lichts (300 000 Sekundenkilometer) überhaupt nicht geben, eine Vorstellung,

die freilich jedem, der von der klassischen Physik herkommt, zunächst höchst widersinnig erscheinen muß; sie steht aber durchaus im Einklang mit verschiedenartigen Beobachtungen, wie hier nicht näher dargelegt werden muß und kann. Bei Bewegungsvorgängen, welche für einen Beobachter eine wesentlich kleinere Geschwindigkeit als die des Lichtes haben, gilt Newtons Mechanik näherungsweise, vor allem ihr uns hier angehender Grundsatz, daß die Masse eines Körpers als unveränderlich zu gelten hat. Kann man aber die (relative) Geschwindigkeit gegenüber der Schnelligkeit des Lichtes nicht vernachlässigen, so tritt die relativistische Physik an die Stelle der „klassischen“ und schreibt der Masse eines Körpers eine Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit zu. Bestimmte Formelbeziehungen, an denen wir hier vorbeigehen müssen, haben dann Geltung und weisen auf eine zunehmende Masse, wenn die Geschwindigkeit des Körpers derjenigen des Lichtes näher kommt. Die Rechnungsergebnisse stehen durchaus im Einklang mit der auf Versuche gestützten Erfahrung, worüber später noch allerlei zu sagen ist.

Bei seinen berühmten Pendeluntersuchungen (1826) hat Bessel erstmals bemerkt, daß der Pendelkörper unter gewissen Umständen eine größere Masse vortäuscht oder — zwar nicht besser, aber „modern“ ausgedrückt — daß zu seiner „wirklichen Masse“ noch eine „scheinbare Masse“ hinzukommt. Den Grund der Vortäuschung erkannte Bessel sehr richtig in der von dem Pendelkörper mitbewegten Luft. Ähnliche Verhältnisse beim fahrenden Unterseeboot oder Luftschiff, beim fliegenden Geschöß usw. drängen sich dem Leser ohne weiteres auf. Hier gilt es aber, ein möglicherweise entstehendes Mißverständnis sofort zu verhindern. Einem Vortäuschen von Masse, einem Auftreten von „scheinbarer“ Masse begegnen wir nicht nur dann, wenn ein fremder Körper beteiligt ist (wie etwa die Luft bei Pendel, Luftschiff und Geschöß). Ein raschlaufender Kreisel widerstrebt

sehr stark einer gegen seine Achse gerichteten Drehung, während am ruhenden Kreisel nichts derartiges zu bemerken ist. Durch die *B e w e g u n g* kommt hier zur trägen Masse des Kreisels noch eine andere, „scheinbare“, hinzu, die man allerdings besser als „kinetische“ bezeichnen würde. Die Wichtigkeit des Gegenstandes rechtfertigt noch ein weiteres Beispiel. Wenn man eine Kupfertafel zwischen den Polen eines noch nicht erregten Elektromagneten durchführt, ist nichts Besonderes zu bemerken; beim Einschalten des den Elektromagneten erregenden Stromes hat man plötzlich — ohne daß man etwas verändert *s i e h t* — das Gefühl, als müsse man die Kupferscheibe durch Butter oder klebrigen Honig hindurchbewegen. Die Masse der Scheibe erscheint bedeutend größer. Die Ursache liegt diesmal in der von Faraday (1845) erstmals auf diese Weise gezeigten Induktionsdämpfung, hervorgerufen durch den Elektromagneten. Von „elektromagnetischer“ (statt von „scheinbarer“) Masse zu sprechen, geht aber hier nicht an, weil man dieser Bezeichnung einen anderen Sinn beigelegt hat.

Die Elemente. Bei den jonischen Philosophen begegnet die Wissenschaftsgeschichte erstmals einem zielbewußten Suchen nach dem Urstoff der Welt. Richtunggebend wurde auf zwei Jahrtausende hin die von Empedokles (um 450 v. Chr.) gemachte Annahme der vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde, denen Aristoteles als fünfte Wesenheit den Äther hinzufügte. Die von ihm nur als *U r e i g e n s c h a f t e n* gedachten Elemente haben in der Zeiten Lauf einen Bedeutungswandel erfahren, dessen Auswirkungen namentlich durch die Alchemie bis in die letzten Jahrhunderte hinein deutlich zu verspüren waren. Man nahm die Elemente als *G r u n d s t o f f e*, gelangte jedoch zu keiner befriedigenden, einheitlichen Deutung der stofflichen Mannigfaltigkeit der Körperwelt, wohl aber zur Alchemie, jener mystisch-okkul-

ten Chemie, die im Suchen nach dem metallveredelnden, Gesundheit und Weisheit bringenden „Stein der Weisen“ ihre schönste, letzte Aufgabe erblickte. Es ist sehr reizvoll — an dieser Stelle freilich unmöglich — zu verfolgen, wie aus dem Wirrsal chemischer Tatsachen, die von den Goldköchen beobachtet, aus Mangel an Unbefangenheit aber nicht gesichtet wurden, allmählich der Begriff des Elements, wie er uns heute geläufig ist, herauskristallisierte. In reinsten Form finden wir ihn erstmals (1661) bei Robert Boyle, der in philosophischem Geist die schwankenden Auffassungen nachprüft und jene Stoffe als Elemente anspricht, die jeglicher weiteren Zerlegung widerstehen.

Der negative Charakter dieser Definition verleiht ihr nur relative Gültigkeit; die Geschichte der Chemie läßt dies auch deutlich erkennen. Wasser mußte so lange als Element — im Sinne von Boyle — gelten, bis im Sommer 1781 seine Entstehung aus Wasserstoff und Sauerstoff durch Cavendish entdeckt wurde. Mangels geeigneter Arbeitsverfahren konnte man die wahre Natur von Elementen lange nicht feststellen; man hielt z. B. (1774) das Chlor für dephlogistisierte oder, wie man später (1810) sagte, oxydierte Salzsäure. Als sich den im Dienste der Chemiker stehenden Energieformen noch eine neue, die Elektrizität, hinzugesellte, waren Zerlegungen möglich, an die man bis dahin gar nicht gedacht hatte. Man hatte z. B. die schon im Altertum bekannten Alkalien, die wir heute Ätzkali und Ätznatron nennen, lange für Elemente gehalten, bis es Davy (1807) glückte, mit dem elektrischen Strom, den er hier erstmals in den Dienst der Chemie stellte, die Zerlegung dieser Stoffe durchzuführen und aus ihnen die elementaren Leichtmetalle Kalium und Natrium abzuscheiden.

Die Physik des neunzehnten Jahrhunderts hat durch die Spektralforschung die Entdeckung und durch die Elektrolyse die Gewinnung unbekannter Elemente ermöglicht und derart gefördert, daß wir heute 86 Elemente kennen. Das von

ihr bebaute Gebiet der Strahlungen — wir wollen es später betreten — hat aber auch Früchte reifen lassen, die den Elementbegriff von Boyle in kaum allzu ferner Zeit entwerfen und verdrängen dürften.

Bei Robert Boyle (1661) findet sich erstmals eine scharfe begriffliche Scheidung zwischen chemischer Verbindung und mechanischem Gemisch. Wenn sich die Eigenschaften der zum neuen Körper zusammentretenden Elemente nicht mehr erkennen lassen, hat man es nach Boyle mit einer (chemischen) Verbindung, andernfalls mit einem (mechanischen) Gemisch zu tun. Daß jene nur nach festen, dieses nach beliebigen Gewichtsverhältnissen der Bauelemente entstehen kann, ist Boyle entgangen, da er lediglich nach dem Was und Wie, nicht jedoch nach dem Wieviel fragte. Zur Erklärung der chemischen Verbindung schuf er den uns noch heute geläufigen, wenn auch etwas veränderten Begriff der chemischen Verwandtschaft, sah sich außerdem genötigt, im Vereinigen oder Trennen kleinster Teilchen der Elemente das Bilden oder Zerlegen einer Verbindung zu erblicken. Hier blitzt erstmals in der Geschichte der Chemie der Gedanke des Atomismus auf, aber er zündet nicht, weil ihn der Ableiter einer zunächst nur qualitativ arbeitenden und denkenden Naturforschung unwirksam macht.

Gewichtsverhältnisse bei Verbindungen. Der Umschwung, der sich in der Physik während des siebzehnten Jahrhunderts durch Männer wie Kepler, Galilei und Guericke vollzog und einer mathematischen Durchdringung vorarbeitete, die sich im Auffinden einfacher Gesetze offenbarte, führte notwendigerweise zum messenden Versuch. Die Chemie hatte bis dahin den Gesetzen, nach denen sich die stofflichen Veränderungen abspielen, keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bei ihr trat die eigentliche Messung stark in den Hintergrund und wurde höchstens herangeholt, wenn

man zur Darstellung eines Stoffes das günstigste Mengenverhältnis der Bestandteile ermitteln oder festlegen wollte. Das Geräte dazu war die Wage, die ihre Verbesserungen vor allem den Bedürfnissen des Goldschmieds und des Apothekers verdankte. Die Theorie dieses noch heute wertvollsten Meßgerätes wurde 1747 durch L. Euler erstmals in voller Ausführlichkeit aufgestellt. Damit konnte an die Stelle einer mäßigen Genauigkeit, mit der man sich lange begnügt hatte, eine erhebliche Empfindlichkeitssteigerung treten, die man schließlich derart weit zu treiben verstand, daß wir heute sogar noch ein zweimilliontel Prozent des aufgelegten Gewichts wahrnehmen können.

Der durch die Hoffmannstropfen bekannt gebliebene F. Hoffmann bemerkte das Leichterwerden von Metallaschen beim Übergang in das Metall, doch wurde seine Entdeckung, in der wir heute einen der Ausgangspunkte der wissenschaftlichen Chemie erblicken, leider viel zu wenig beachtet. Nicht viel besser erging es der durch Wenzel aus messenden Versuchen über die Salzbildung aus Säuren und Basen gewonnenen (1777), von Richter bestätigten und erweiterten Erkenntnis der jedem chemischen Vorgang eigentümlichen festen Gewichtsverhältnis bei auf einander einwirkenden Stoffen. Die Saat dieser deutschen Chemiker ging in Frankreich auf. Lavoisier gelangte zum Satz von der Konstanz des Stoffes, von der Erhaltung der Materie. Die durch M. H. Klaproth und durch L. N. Vauquelin aus Sonderfällen gewonnene Erkenntnis einer unveränderlichen Zusammensetzung chemischer Verbindungen verallgemeinerte J. L. Proust dahin, daß die Zusammensetzung einer Verbindung eindeutig ist und daß der Verbindungsfähigkeit der Elemente von der Natur Schranken gezogen sind.

Richter hatte die Ausdeutung seiner zahlreichen Ergebnisse, in der wir den Grundgedanken der quantitativen chemischen Atomistik sehen müßten, leider unterlassen. Sie er-

folgte erst durch J. Dalton, der mit seinen hier zu nennenden Arbeiten im Jahre 1808 an die Öffentlichkeit trat. Die vorhin erwähnten Ergebnisse der deutschen Forscher, teilweise von ihm selbständig neu entdeckt, regten ihn an, die gemeinsame Ursache zu ergründen. Er erblickte sie im inneren Aufbau der Stoffe; kam es doch bei der Bildung von Verbindungen keineswegs auf die Gesamtmenge der Elemente, dagegen auf deren festliegende Gewichtsverhältnisse an. Damit zog in die Chemie die von den Philosophen schon lange — wenn auch unter ganz anderen Gesichtspunkten! — gepflegte Atomlehre ein, die uns zunächst beschäftigen soll.

Das Werden der Atomlehre. Erscheinungen des täglichen Lebens führten den grübelnden Menscheng Geist zur Atomistik. Man bemerkte, wie Körper durch Erwärmen größer, durch Abkühlen kleiner werden, wie Salz unsichtbar werdend sich in Wasser löst und selbst einer großen Menge seinen Geschmack mitteilt. Dies und noch manches andere drängte zur Annahme einer den Raum nicht stetig erfüllenden, also diskontinuierlichen Materie, zur atomistischen Auffassung, wie sie an die Namen von Leukipp aus Milet und Demokrit aus Abdera anknüpft. Was auf jeden von ihnen als Anteil entfällt, ist aus Mangel hinreichender Quellen unsicher, doch bevorzugt man (anscheinend nicht ganz mit Recht) den Abderiten als Hauptbegründer der Atomistik. Nach ihm besitzen alle Naturkörper einen Aufbau aus unendlich kleinen, nicht mehr wahrnehmbaren, raumerfüllenden, aber gänzlich unzerteilbaren Stoffstückchen, die er Atome (d. h. Unzer-schneidbare) heißt. Lediglich durch Größe und Gestalt verschieden, stets in Bewegung, bedingen sie die Mannigfaltigkeit der Naturkörper. Demokrit bleibt hierbei nicht stehen, nimmt vielmehr auch für den Geist Atome an und begründet damit den Materialismus, an den spätere philosophische Schulen anknüpfen.

Dem Versuch von Epikur, die Welt auf Grund der Atomlehre mechanisch zu erklären, hat der römische Dichter-Philosoph Lukrez in seinem Lehrgedicht „de rerum natura“ (Die Natur der Dinge) ein unvergängliches Denkmal gesetzt. Damals hatte bereits die aristotelische Elementenlehre den Atomisten die meisten Anhänger entzogen und das Feld betreten, das sie fast zwei Jahrtausende behauptete. Als sie es im Zeitalter der Renaissance langsam zu räumen begann, brach für die Atomistik ein neuer Tag an. Dabei dürfen wir neben dem Italiener Giordano Bruno und dem Engländer Bacon von Verulam den Mediziner Daniel Sennert aus Wittenberg nicht vergessen, dem die Erneuerung der Atomistik in Deutschland zu danken ist. Dem im siebzehnten Jahrhundert langsam erstehenden Gebäude der neueren Physik fügte Gassendi die Atomlehre von Epikur und Demokrit mit einigen Abänderungen ein (1674 ff.). Ließe sich ein Körper bis ins Unendliche teilen, so müßte er sich in Nichts auflösen, was aber undenkbar ist. Man gelangt zu unteilbaren Urkörperchen, den Atomen, die alle möglichen Gestalten haben können und durch verschiedene Lagerung den festen, flüssigen oder gasigen (Aggregat-)Zustand bedingen sollen. Kräfte, die den Atomen innewohnen, sollen durch deren Verbinden und Trennen das Entstehen und Vergehen der Körper bewirken. Damit kam Gassendi den Bedürfnissen der Chemiker entgegen und fand namentlich Anklang bei Robert Boyle, dessen Anschauungen wir uns nochmals zuwenden müssen. Zwischen den Atomen, die ihm als die kleinsten Bestandteile der Stoffe gelten, sind die Zwischenräume nicht leer, sondern mit einem Stoffe ausgefüllt, der fast keinen Widerstand bietet. Durch Größe und Gestalt sollen die Atome verschieden sein. Zur Erklärung der Formarten denkt sich Boyle die Atome bei Flüssigkeiten in steter Bewegung, bei festen Körpern dagegen in Ruhe.

Noch zu Boyles Lebzeiten erschien (1687) das Haupt-

werk von I. Newton „Philosophiae naturalis principia mathematica“ (Mathematische Prinzipien der Naturwissenschaft), das mit seinen Ausführungen über die allgemeine Massenanziehung auch die Atomlehre neu anregte, die nun den zwischen den Atomen wirkenden Kräften nachgehen mußte, wobei allerdings an begrifflichen Schwierigkeiten kein Mangel war. Die Verknüpfung der alten Atomistik mit der Ansicht von Newton über die allgemeine Massenanziehung versuchte Immanuel Kant (1756) in seiner lateinischen Dissertation „Über den Nutzen einer mit der Geometrie verbundenen Metaphysik in der Naturphilosophie“ (meist „Physische Monadologie“ genannt, zumal da ein Einklang der Monadenlehre von Leibniz mit der newtonischen Physik erstrebt wird), sowie später ausführlicher in seinen „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ (1786). Mit seiner Vorstellung von zwei zwischen den kleinsten Materienteilchen wirkenden Kräften, einer anziehenden und einer abstoßenden, gewinnt Kant ein einfacheres Bild vom Materienaufbau als R. J. Boscowich, den man meist als Begründer der neueren Atomistik bezeichnet, seitdem ihn Fechner mit seiner Schrift „Die physikalische und philosophische Atomenlehre“ (1855) aus dem Dunkel der Vergessenheit herausgehoben hat, in das er durch das helle Licht des deutschen Philosophen allmählich gedrängt worden war. Der (verdeutschte) Titel von Boscowichs Hauptwerk (1758) „Theorie der Naturwissenschaft, zurückgeführt auf ein einziges Gesetz der in der Natur vorhandenen Kräfte“ weist schon auf das Wesentliche hin: alle Anziehung der Materie und ihrer Teile wird durch eine einzige Kraft gedeutet. Die Materie baut sich aus ausdehnungslosen physikalischen Punkten auf, begabt mit Trägheit und mit einer Kraft, die nur von der gegenseitigen Lage der Punkte abhängt, sich aber — und das ist die wundeste Stelle der ganzen Lehre — in bestimmten Wirkungsbereichen wechselnd betätigt. Die genannten

Schriften von Kant und Boscovich stellt man meist an den Anfang der neueren Atomistik, weil hier — bei aller Verschiedenheit im einzelnen — die Atome zu bloßen Kraftzentren werden, ein Gedanke, der später vor allem von Faraday übernommen und sinngemäß ausgestaltet sich mit einigen Wandlungen bis in die Gegenwart hinübergerettet hat.

Wie Dalton dazu kam, die Chemie zum inneren Aufbau der Materie zu leiten, ist schon gesagt worden. Er denkt sich ein Element aus gleichartigen und gleichschweren letzten Bausteinen, den Atomen, gebildet. Die Atome verschiedener Elemente haben aber nicht das nämliche Gewicht. So haben die Wasserstoffatome unter sich das gleiche Gewicht, ebenso alle Sauerstoffatome unter sich. Das Wasserstoffatom und das Sauerstoffatom sind dagegen verschieden schwer. Solange man nicht weiß, wieviel Atome der Einzelemente in einer Verbindung zusammentreten, scheint es aussichtslos, die Gewichte der Atome in Grammen oder auch nur in Verhältniszahlen auszudrücken.

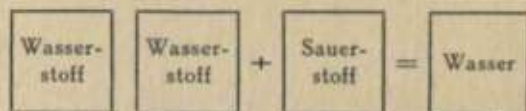
Atom und Molekül. Seit Boyle (1662) und Mariotte (1676) weiß man, daß der Raum einer abgeschlossenen Luftmenge — gleichbleibende Warmheit (Anm. 1) ist dabei vorausgesetzt — in dem nämlichen Verhältnis zu- oder abnimmt, in dem der herrschende Druck fällt oder steigt. Anders ausgesprochen: die Raummengen verhalten sich umgekehrt wie die Drucke, wenn nur die Warmheit keine Veränderung erfährt. Auffallenderweise gilt dieses durch seine Einfachheit ausgezeichnete Gesetz keineswegs nur für Luft, sondern für alle Gase, ist also von ihrer chemischen Natur völlig unabhängig und deutet auf einen einfachen Zusammenhang im Atomgefüge der Gase hin, ja spricht geradezu für ein solches. Die Gase und Dämpfe zeigen aber noch eine weitere von der chemischen Beschaffenheit unabhängige Eigenschaft, die Gay-Lussac im Jahre 1802 entdeckt hat: sie dehnen sich,

wenn sie unter gleichem Drucke stehen, bei derselben Erhöhung ihrer Warmheit um den gleichen Betrag aus und zwar für jeden Celsiusgrad um $\frac{1}{273}$ der bei 0 Grad gemessenen Raummenge. Da sich die Gasausdehnung nur durch die Annahme einer Vergrößerung des gegenseitigen Abstandes der kleinsten Teilchen deuten läßt, folgerte Avogadro im Jahre 1811 aus dem Gesetze von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac: Gleiche Raummengen von Gasen enthalten unter sonst gleichen Verhältnissen dieselbe Zahl von Atomen.

Hier liegt aber eine Schwierigkeit: das kleinste Teilchen Wasserstoff ist noch Wasserstoff und nur Wasserstoff. Das kleinste Teilchen Wasser ist zwar noch Wasser, besteht aber (wie jede Wassermenge) aus Wasserstoff und Sauerstoff, ist also nicht „unteilbar“ und darf darum nicht Atom genannt werden. Wir wollen künftig das kleinste Teilchen einer Verbindung, das noch als solche angesprochen werden kann, ein „Molekül“ heißen. Seine Bausteine sind die elementaren Atome; anders gesagt: das Wassermolekül besteht aus Wasserstoffatomen und Sauerstoffatomen. Die Frage nach der Anzahl dieser Atome drängt sich sofort auf und findet ihre Antwort durch eine Entdeckung, die Gay-Lussac im Jahre 1809 veröffentlicht hat: Gase verbinden sich stets nach ganz einfachen Raumverhältnissen. Wasserstoff und Sauerstoff z. B. verbinden sich stets im Raummengenverhältnis 2:1 zu Wasser. In der Sprache der Atomistik heißt das: Das Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Für Avogadros Regel bringt die Unterscheidung von Molekül und Atom eine neue Schwierigkeit, wenn man von elementaren und zusammengesetzten Gasen sprechen muß, denn jene Regel bezieht sich nur auf kleinste Teilchen, ohne die begriffliche Scheidung in Molekül und Atom und besagt eigentlich nur, daß bei demselben Druck und demselben Wärmegrad (und das soll künftig stets gemeint sein, wenn nichts anderes bemerkt wird!) ein Rauteil Was-

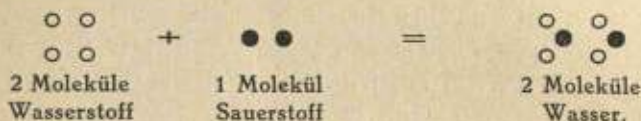
serstoff dieselbe Zahl kleinster Teilchen beherbergt, wie derselbe Raumteil Sauerstoff, Wasserdampf, Stickstoff usw.

Wir wollen einmal annehmen, es handle sich um Raumteile, die je 12 Trillionen kleinster Teilchen enthalten (Anmerkung 2). Dann enthalten die zwei Raumteile Wasserstoff 24 Trillionen und der eine Raumteil Sauerstoff 12 Trillionen, zusammen also 36 Trillionen kleinster Teile. Da im Wasser je drei kleinste Teilchen aneinandergelagert sind, werden diese 36 Trillionen kleinster Teilchen 12 Trillionen kleinster Wasserteilchen liefern, die also nach Avogadro denselben Raum einnehmen wie der verwendete Sauerstoff. Also müssen zwei Raumteile Wasserstoff mit dem einen Raumteil Sauerstoff einen Raumteil Wasser liefern oder bildlich ausgedrückt



Das trifft aber nicht zu, denn der leicht anzustellende Versuch zeigt, daß man gerade die doppelte Menge: nämlich zwei Raumteile Wasser erhält! Avogadro merkte, daß man bei den Elementen von Atomen, bei dem Wasser aber von Molekülen, d. h. Atomgruppen redet. Er nahm deshalb an, daß auch die Elemente Moleküle besitzen, die aus Atomen desselben Stoffes bestehen, während die Moleküle von Verbindungen aus ungleichartigen Stoffen aufgebaut sind. In unserem Falle muß man dem Wasserstoffmolekül zwei Wasserstoffatome zuschreiben und dem Sauerstoffmolekül zwei Sauerstoffatome, weil die Überlegung zur doppelten Wassermenge führen muß. Die Regel scheint also zu lauten: Gleiche Raummengen von Gasen enthalten unter sonst gleichen Bedingungen gleichviel Moleküle. Dann hat jeder der beiden Raumteile Wasserstoff, von denen die Rede war, 12 Trillionen zweiatomiger Moleküle und der eine Raum-

teil Sauerstoff 12 Trillionen zweiatomiger Moleküle, also beträgt die Summe der Atome ($2 \cdot 12 \cdot 2 + 1 \cdot 12 \cdot 2$) Trillionen oder 72 Trillionen. Diese treten zu je dreien zu einem Wassermolekül zusammen. Es sind daher 24 Trillionen Wassermoleküle vorhanden, die zwei Raumteile Wasser bilden. Und das zeigt ja tatsächlich der Versuch! Wenn wir das Wasserstoffatom durch einen weißen, das Sauerstoffatom durch einen schwarzen Kreis darstellen, erhalten wir folgendes Bild für den Vorgang:



Die Annahmen Avogadros stehen hier — und auch bei allen anderen Fällen — mit den Erfahrungstatsachen in vollstem Einklang. Trotzdem hat es Jahrzehnte gedauert, bis man sich an sie hat gewöhnen können. Die Entwicklung der theoretischen Chemie hatte freilich den Schaden davon. Als Ergebnis halten wir für unsere Darlegungen Avogadros Regel in der Fassung fest: Gleiche Raumteile von Gasen enthalten unter sonst gleichen Verhältnissen die gleiche Anzahl von Molekülen.

Atomgewicht und Molekulargewicht. Unter sonst gleichen Verhältnissen wiegt ein Liter Sauerstoff das Sechzehnfache wie ein Liter Wasserstoff. Da beide gleichviel Moleküle enthalten und diese hier zweiatomig sind, ist auch die Anzahl der Atome in beiden Gasen die gleiche. Damit erfahren wir aber: das Sauerstoffatom wiegt das Sechzehnfache wie das Wasserstoffatom. Man kennt (zunächst) zwar nicht die in Grammen angebbaren Gewichte der Atome, wohl aber das Verhältnis ihrer Gewichte und nennt diese Verhältniszahlen „Atomgewichte“. Dabei wählt man den Wasserstoff, weil er das leichteste Element ist, als Einheit. Man

sagt: Das Atomgewicht von Wasserstoff ist 1, das von Sauerstoff dagegen 16. Für die verschiedenen Elemente erhält man keineswegs ganzzahlige Atomgewichte, für Sauerstoff ist der genauere Wert nicht 16, sondern 15,873, doch reicht für viele Zwecke der abgerundete Wert völlig aus. Eine Zeit lang glaubte man, die Atomgewichte seien glattere Zahlen, wenn man sie alle auf Sauerstoff beziehe und diesem das Atomgewicht 16,000 zuschreibe. Dann wird das Atomgewicht von Wasserstoff etwas größer als 1 nämlich 1,008, weil $1 : 15,873 = 1,008 : 16$ ist. Für Forschung, Unterricht usw. ist es natürlich ganz gleichgültig, welche Rechengrundlage man wählt. Heute wird, obwohl sich der erwähnte Grund als nicht stichhaltig erwiesen hat, meist auf Sauerstoff = 16,000 bezogen, vor allem, weil sich dieses Gas mehr als der Wasserstoff in unmittelbare chemische Beziehung zu den anderen Elementen bringen läßt (Anm. 3).

Die zur Bestimmung der Atomgewichte dienenden chemischen oder — auf Avogadros Regel gestützten — physikalischen Verfahren sind vor etwa 60 Jahren durch J. S. Stas in Brüssel auf eine für die damalige Zeit höchst bewundernswerte Genauigkeit und Sicherheit gebracht worden. Seine sich nur auf die wichtigsten und verbreitetsten Elemente erstreckenden Bestimmungen sind neuerdings durch den Amerikaner Th. W. Richards erweitert und ausgebaut worden. Um der Wissenschaft stets die neuesten und zuverlässigsten Werte als Unterlage für die Berechnungen liefern zu können, erschien seit 1899 jährlich bis zum Kriegsausbruch eine Atomgewichtstabelle als Arbeitsergebnis der „Internationalen Atomgewichts-Kommission“ und enthielt seit 1906 die Zahlen auf Sauerstoff = 16,000 bezogen (Anm. 4). Für unsere Betrachtungen genügen meist die abgerundeten Werte (Wasserstoff = 1; Sauerstoff = 16).

Da die letztgenannten Elemente zweiatomig sind, ist das „Molekulargewicht“ von Wasserstoff 2, von Sauerstoff 32.

Für Wasser, dessen Molekül aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom besteht, erhält man als Molekulargewicht $2 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 18$. Die Dichten (spezifischen Gewichte) zweier Gase (unter sonst gleichen Verhältnissen) verhalten sich nach Avogadros Regel wie die Molekulargewichte. Weil aber Wasserstoff das MG (= Molekulargewicht) 2 hat, heißt dies: Das Molekulargewicht eines Stoffes ist das Doppelte der auf Wasserstoff von sonst gleichen Verhältnissen bezogenen Gasdichte (oder Dampfdichte). Kohlensäuregas z. B., welches das 22fache derselben Raummengung Wasserstoff wiegt, hat demnach das MG 44. Man hat damit ein einfaches Verfahren, ein MG oder AG (= Atomgewicht) durch den Versuch zu gewinnen, doch versagt es scheinbar bei den nicht gasförmigen Elementen und Verbindungen. Man kann aber, wie es Berzelius zuerst unternommen hat, die Zahlen auch auf anderen Wegen, die wir noch kennen lernen werden, errechnen.

Neben dem nur eine Verhältniszahl angegebenden Molekulargewicht benutzt man häufig noch das in Grammen ausgedrückte „Mol“. Es bezeichnet bei jedem Stoffe soviel Gramme als das Molekulargewicht angibt. Demnach hat ein Mol Wasserstoff 2 gr, ein Mol Sauerstoff 32 gr, ein Mol Kohlensäure 44 gr usw. Da sich die Molekulargewichte von Gasen unter gleichen Bedingungen wie die Gewichte gleicher Raummengen verhalten, müssen alle Mole denselben Raum einnehmen, den man das „Molvolumen“ heißt. Da 2 gr Wasserstoff oder 32 gr Sauerstoff oder 44 gr Kohlensäure einen Raum von 22,4 Litern einnehmen, bezeichnet das Molvolumen stets den Raum von 22,4 Litern (oder Kubikdezimetern).

Atombuchstabe und Molekülformel. Aus Raumgründen müssen wir uns etwas mit der Formelsprache bekannt machen, die von Berzelius eingeführt sich als höchst bequem, zweckmäßig und lebensfähig erwiesen hat. Jedes Element

bezeichnet man mit dem Anfangsbuchstaben seines lateinischen oder griechischen Namens. So heißt H Wasserstoff (Hydrogenium), O Sauerstoff (Oxygenium), C Kohlenstoff (Carbo oder Carbonium) usw. Der Buchstabe bezeichnet zugleich 1 Atom des betreffenden Elements und damit auch das aus der Tafel 1 zu ersehende Atomgewicht. Bei Verbindungen schreibt man die Atombuchstaben nebeneinander und gibt durch eine kleine Ziffer die Zahl der Atome an, wobei der Einser weggelassen wird. Das Ganze wird damit zur Molekülformel. Ein Beispiel: H_2O bedeutet 1 Molekül Wasser, bestehend aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff, also aus zwei Gewichtsteilen Wasserstoff und sechzehn Gewichtsteilen Sauerstoff. Man sieht also der Formel H_2O an, daß Wasser im Gewichtsmengenverhältnis 2 : 16 oder 1 : 8 und im Raummengenverhältnis 1 : 2 aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht. Die früher bildlich dargestellte Entstehung von Wasser hat in Formelzeichen dieses Aussehen: $2H_2 + 1O_2 = 2H_2O$.

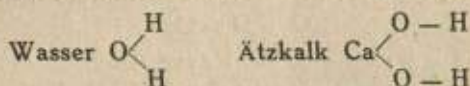
Die Wertigkeit der Atome. Bei der Betrachtung der Molekularformeln chemischer Verbindungen bemerkt man eine gewisse Regelmäßigkeit in der Anzahl der aufbauenden Atome. Bei den Säuren HCl, HBr, HJ und HFl (es sind die Wasserstoffverbindungen der Halogene Chlor, Brom, Jod und Fluor) hält jedes Wasserstoffatom ein Atom des anderen Elements fest (und umgekehrt). An die Stelle des Wasserstoffs kann ein anderes Element treten, etwa bei den Verbindungen NaCl, KBr, AgJ usw. Wir haben es also bei H, Cl, Br, J, Na, K, Ag mit Elementen zu tun, bei denen je ein Atom wieder je ein Atom festhält. Unter den Sauerstoffverbindungen gibt es u. a. folgende Körper: H_2O , K_2O , Na_2O , Ag_2O . Hier halten je zwei Atome der vorgenannten Elemente jeweils ein Sauerstoffatom fest. Moleküle wie z. B. K_2O_3 , K_2O , KO_2 usw. gibt es aber nicht.

Zur „Erklärung“ schufen die engbefreundeten Chemiker E. Frankland und H. Kolbe den Begriff der Wertigkeit oder Valenz des Atoms. Sie schrieben jedem Atom eine bestimmte Zahl von Angriffspunkten zu, an denen es andere Atome (an ihren Angriffspunkten) festhalten kann. Diese Zahl heißt Wertigkeit oder Valenz des betreffenden Elements. Das Wasserstoffatom ist als einwertig angenommen. Wie ein Einarmiger nur wieder einem Einarmigen die Hand reichen kann (ohne daß eine freie Hand überbleibt!), kann das einwertige H-Atom nur andere einwertige Atome binden. Deshalb müssen nach obigen Formeln auch Cl, Br, J und Fl einwertig sein, ebenso aber auch Na, K und Ag, weil sie den einwertigen Wasserstoff vertreten können.

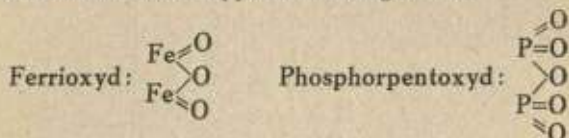
Bei H_2O müssen wir daran denken, daß zwei Einarmige einen Zweiarmigen festhalten können, d. h. wir müssen dem O-Atom zwei Angriffsstellen zuschreiben, den Sauerstoff also zweiwertig annehmen. Damit werden aber die Formeln H_2O , K_2O , Na_2O und Ag_2O unmittelbar verständlich. Da das Molekül des gebrannten Kalkes die Formel CaO hat, muß auch das Ca-Atom zweiwertig sein. Deshalb gibt es keinen Körper $CaCl$, wohl aber $CaCl_2$. Bei $CaCl$ wäre nämlich eine „freie Valenz“ am Ca-Atom, es zeigt sich aber, daß im allgemeinen keine freien Valenzen vorkommen. Deshalb gibt es, wie schon gesagt, die Moleküle K_2O_3 , K_3O und KO_2 nicht.

Das sieht alles recht schön aus, hat aber den Mangel, daß manches Element nicht nur eine Wertigkeit hat, z. B. kann der Phosphor dreiwertig und fünfwertig sein, ebenso das Arsen. Es gibt nämlich P_2O_3 und As_2O_3 , aber auch P_2O_5 und As_2O_5 . Und ebenso gibt es Moleküle, in denen sich die Atome nicht nach ihrer Wertigkeit binden, z. B. bei NO , CO usw. Auf die in neuester Zeit gemachten Versuche, hier durch Höchst-, Teil- und Nebenvalenzen eine Deutung zu geben, kann nicht eingegangen werden.

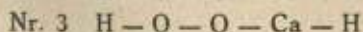
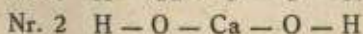
Die Aufbauformel des Moleküls. Um den Aufbau des Moleküls aus seinen Atomen zu veranschaulichen, gibt man nach dem Vorgange (1858) des amerikanischen Chemikers A. S. Couper jedem Atom soviel Bindungsstriche, als es Valenzen hat, also $H-$, $Cl-$, $O=$, $Fe\equiv$ usw. und schreibt die Bindung im Molekül des Chlorwasserstoffs $H--Cl$ oder kürzer $H-Cl$, im Molekül des Kochsalzes $Na--Cl$ oder $Na-Cl$. So gelangt man zu sehr anschaulichen Aufbauformeln (Strukturformeln) der Moleküle. Einige Beispiele:



Es kommen auch doppelte Bindungen vor:



Der Nichtchemiker zeigt den Strukturformeln gegenüber meist eine argwöhnische Zurückhaltung. Mit Rücksicht auf das spätere Bedürfnis sei darum hier am Beispiel des Ätzkalkes, der nach der Analyse die Zusammensetzung CaO_2H_2 hat, der Weg zur Strukturformel gezeigt. Da Wasserstoff einwertig, Kalzium und Sauerstoff aber zweiwertig sind, gibt es für den Ätzkalk drei denkbare Strukturformeln:



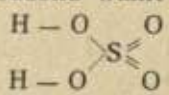
Die letzte Formel scheidet als Umkehrung der ersten überhaupt aus. In Nr. 1 aber wäre das eine H mit Ca, das andere dagegen mit O verbunden. Man müßte also eine gewisse Verschiedenheit im chemischen Verhalten der beiden H-Atome erwarten, die man aber noch nie beobachtet hat, daher bleibt nur Nr. 2 übrig, die man als Kettenformel

H — O — Ca — O — H oder, u. a. der Gleichordnung zuliebe,
 $\begin{array}{c} \text{O} - \text{H} \\ \text{Ca} \left\langle \begin{array}{l} \text{O} - \text{H} \\ \text{O} - \text{H} \end{array} \right. \end{array}$ schreibt.

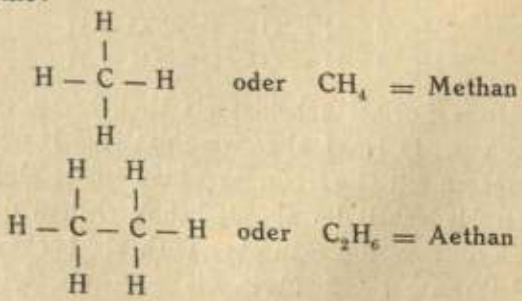
Mit fortschreitender Erkenntnis kann recht wohl an die Stelle einer lange gebräuchlich gewesenen Strukturformel eine andere treten. Man hat z. B. früher den Schwefel S in der Schwefelsäure H_2SO_4 als zweiwertig angenommen

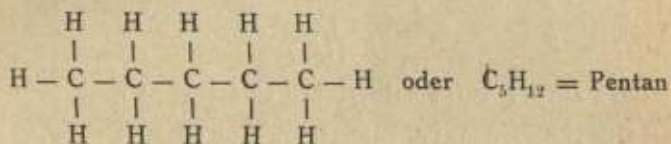
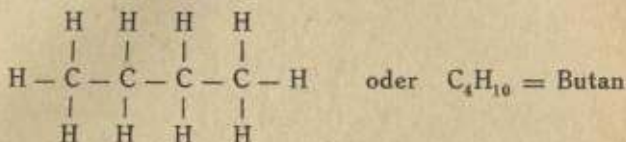
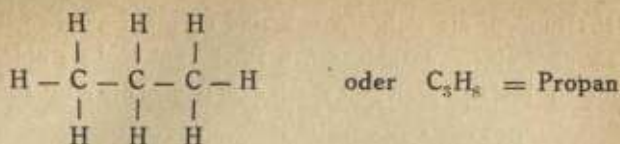
und deren Formel $\text{S} \begin{array}{l} \text{O} - \text{O} - \text{H} \\ \text{O} - \text{O} - \text{H} \end{array}$ oder als Kettenformel

H — O — O — S — O — O — H geschrieben. Doch ist man damit zu Widersprüchen gekommen, die sich nur beheben lassen, wenn man für das Schwefelatom sechs Valenzen annimmt und das Aufbaubild wählt



Mit solchen Formelbildern kann man leicht dem Aufbau der Moleküle von Verbindungen nachgehen und gewisse Gruppen schaffen. Den Nutzen hat man vor allem bei den geradezu zahllosen Verbindungen des Kohlenstoffs verspürt, dessen Vierwertigkeit Kekulé (1858) ganz klar erkannt hat. Der Kohlenstoff vermag — und das zeichnet ihn unter den Elementen besonders aus — lange Ketten zu bilden. Als Beispiel wählen wir seine Wasserstoffverbindungen der sog. Methanreihe:



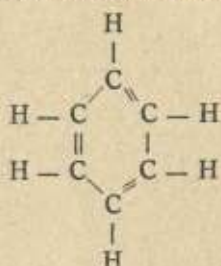



usw.

Alle derart gebauten Stoffe, bei denen die Zahl der Wasserstoffatome um 2 größer ist als die doppelte Zahl der Kohlenstoffatome, bilden die sog. gesättigten Kohlenwasserstoffe oder Paraffine, die sich in der Natur teilweise in ungeheuren Mengen vorfinden. Bei gewöhnlicher Temperatur sind die ersten Glieder der Reihe gasförmig, vom Pentan ab flüssig und vom Hexadekan ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) ab fest.

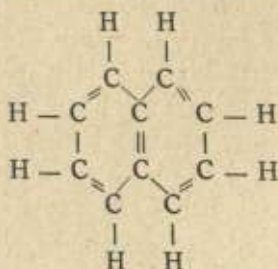
In einer wenig beachteten Schrift „Chemische Studien“ (1861) hat Loschmidt eine auch die Doppelbindungen zwischen Kohlenstoffatomen erstmals berücksichtigende zeichnerische Darstellung der Kohlenstoffverbindungen gegeben. Nicht weniger wie 368 Bilder für Molekularformeln finden sich bei ihm. Für die aromatischen Verbindungen, von denen er 121 Formelbilder entwarf, wurde er zu einer ringförmigen Verkettung geführt, die vier Jahre nach ihm und wohl selbständig durch Kekulé für die Benzoltheorie zugrunde gelegt wurde. Nach Kekulé (1865) ist das Benzol C_6H_6 , das sich u. a. im Steinkohlenteer zu 1 % findet, in seinem Molekül symmetrisch gebaut und besteht aus sechs

CH-Gruppen, die sich abwechselnd ein- und zweiwertig binden und einen geschlossenen Ring von sechs Kohlenstoffatomen bilden. Man gibt somit dem Benzol die Aufbauformel:



die man oft der Kürze halber auch so schreibt: 

Die außerordentlich zahlreichen und wichtigen sog. aromatischen Verbindungen, von denen sich der größte Teil durch einen starken, wenn auch nicht immer angenehmen Geruch auszeichnet, haben ringförmig verkettete Moleküle. Nur ein Beispiel: Das aus dem Steinkohlenteer gewonnene allbekannte Naphtalin besteht aus zwei symmetrisch kondensierten Benzolkernen, die zwei Kohlenstoffatome gemeinsam haben. Statt C_{10}H_8 muß man eigentlich ausführlicher schreiben:



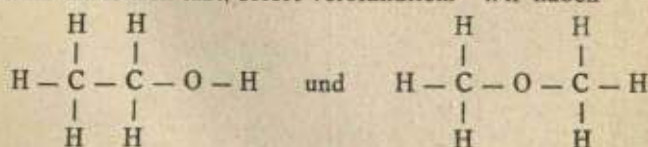
Meist schreibt man nur:



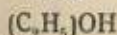
Isomere und polymere Moleküle. Ohne Aufbauformeln gelangt man zu keiner Deutung der sog. Isomerie. Das von Liebig im Jahre 1823 untersuchte, als Explosivstoff recht gefährliche Knallsilber wies die nämliche Zusammensetzung

auf, wie das von Wöhler im Jahre vorher beschriebene durchaus harmlose zynsaure Silber, gemäß der Formel CNOAg . Ein zuerst vermuteter Irrtum lag nicht vor, man stand erstmals vor der verblüffenden Tatsache, auf deren Möglichkeit Alexander von Humboldt schon im Jahre 1797 hingewiesen hatte, daß Körper sehr wohl aus gleichen Mengen derselben Elemente bestehen und doch durchaus verschiedene Eigenschaften besitzen können. Faradays Vermutung, daß sich die Zahl derartiger Fälle vermehren werde, hat sich bestätigt. Berzelius nannte solche Verbindungen, denen er 1830 die Traubensäure und Weinsäure zugesellte, „isomer“ (d. h. gleichartig). Eine Erklärung versuchte er nicht und sprach nur ganz allgemein von verschiedener Stellung des Atoms. „Auf Grund der relativen Stellungsweise der Atome eine Erklärung zu wagen und die Art derselben zu beschreiben, ist mehr Vermutung als man sich erlauben darf. Daß die Stellung der Atome verschieden sein müsse, setzt die isomere Natur dieser Verbindungen (nämlich der Knallsäure und der Zynsäure) an und für sich voraus.“

Da es uns nur auf die Grundlagen ankommt, wollen wir ein einfaches Beispiel wählen. Die Formel $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ kommt zwei Verbindungen zu, dem im allgemeinen flüssigen, erst bei 78,3 Grad siedenden gewöhnlichen (Äthyl-)Alkohol und dem gewöhnlich gasförmigen, erst unter -23 Grad flüssigen Methyläther. Dieser Isomeriefall wird durch die Verschiedenheit des inneren Molekülaufbaus, die sich in der Strukturformel darstellen läßt, sofort verständlich. Wir haben

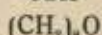


oder



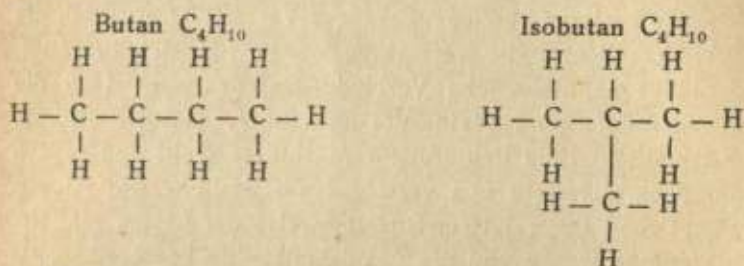
gewöhnlicher Alkohol

oder



Methyläther.

In der schon behandelten Paraffinreihe tritt die erste Isomerie beim Butan C_4H_{10} auf; dieses Gas wird bei Abkühlung auf $+1$ Grad flüssig. Es gibt aber noch ein anderes Gas von der Formel C_4H_{10} , das sich erst bei -17 Grad verflüssigen läßt; man heißt es Isobutan. Nur die Aufbauformel läßt die Verschiedenheit im Molekül erkennen. Es ist nämlich:



Bei dem Pentan C_5H_{12} gibt es bereits drei isomere Formen mit den Siedepunkten 38° , 30° und 9° , die trotz der gleichen prozentigen Zusammensetzung (83,33 % C und 16,67 % H) und desselben Molekulargewichtes 72 verschiedene physikalische und chemische Verhalten zeigen. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Zahl der isomeren Formen in der Paraffinreihe zu. So gibt es

bei Butan	C_4H_{10}	2	}	verschiedene isomere Formen.
Pentan	C_5H_{12}	3		
Hexan	C_6H_{14}	5		
Heptan	C_7H_{16}	9		
Oktan	C_8H_{18}	18		
Nonan	C_9H_{20}	35		
Dekan	$C_{10}H_{22}$	75		
Undekan	$C_{11}H_{24}$	159		
Dodekan	$C_{12}H_{26}$	355		
Tridekan	$C_{13}H_{28}$	802		
Tetradekan	$C_{14}H_{30}$	1855		
usw.				

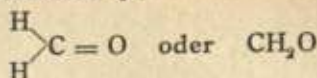
Die Zahl der denkbaren Paraffine wächst rasch ins Ungemessene. Die meisten können aber in der Natur weder entstehen noch bestehen, sind vielmehr nur Laboratoriumserzeugnisse, unter denen man sich aber nur durch die Aufbauformeln zurechtfinden kann. Mit A. Butlerow (1863), dem man die Klarlegung der Isomerieursachen verdankt, ist mancher Chemiker in dem Stoßseufzer einig: „Die Zahl der theoretischen Isomerien ist wirklich größer, als man eigentlich wünschen möchte“.

Zu den polymeren Molekülen möge uns ein Beispiel leiten. Wir kennen verschiedene Verbindungen, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff im Raummengenverhältnis 1 : 2 : 1 bestehen, also das Molekül CH_2O erwarten lassen, da die Atomgewichte auf dieselbe Zusammensetzung im Gewichtsverhältnis 12 : 2 : 16 oder 6 : 1 : 8 hindeuten. Es handelt sich um das stechend riechende, zum Entseuchen von Wohnräumen verwendete Gas Formaldehyd, dann um die im verdünnten Zustand als Essig bekannte Essigsäure, ferner um die noch zu behandelnde Milchsäure und endlich um den vom Kunsthonig her bekannten Traubenzucker. Diese Verbindungen sind polymer, d. h. sie besitzen zwar gleichprozentige Zusammensetzung, aber verschiedenes Molekulargewicht, nämlich Formaldehyd 34, Essigsäure 68 (= 2 · 34), Milchsäure 102 (= 3 · 34) und Traubenzucker 204 (= 6 · 34). Die Molekularformeln müssen darum lauten:

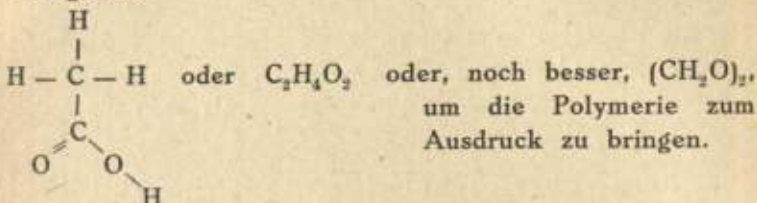
Formaldehyd	CH_2O		
Essigsäure	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	oder	$(\text{CH}_2\text{O})_2$
Milchsäure	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	oder	$(\text{CH}_2\text{O})_3$
Traubenzucker	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	oder	$(\text{CH}_2\text{O})_6$

Was hier zunächst ganz unverständlich erscheint, wird in den Strukturformeln einleuchten, die wir nur für die beiden ersten Stoffe (es gehören nämlich noch andere hierher) anschreiben wollen:

Formaldehyd



Essigsäure



Räumliche Anordnung der Atome im Molekül. Eine eigenartige Erweiterung erfuhr die Strukturchemie durch die im Jahre 1816 von Biot entdeckte Drehung der Polarisations-ebene des Lichtes. In der Physik heißt man einen Lichtstrahl „polarisiert“, wenn sich seine Schwingungen nur in einer Ebene vollziehen. (Anm. 5.) Nach Biot vermögen verschiedene Stoffe einen sie durchsetzenden polarisierten Lichtstrahl derart zu verändern, daß sich seine Polarisations-ebene nach rechts oder links dreht (Anm. 6), einer Wendeltreppe vergleichbar. Zu diesen „optisch aktiven“ Stoffen gehört auch die in vielen Früchten, vor allem in den Trauben vorkommende Weinsäure, die in wässriger Lösung die Polarisations-ebene nach rechts dreht. Im Jahre 1860 fand Pasteur auch eine nach links drehende Weinsäure, die der zuerst genannten isomer ist. Beide Weinsäuren bilden Kristalle, die durchaus gleichartige Flächen aufweisen, sich aber wie Bild und Spiegelbild (oder wie rechte und linke Hand) zu einander verhalten (Abb. 1). Die Ursache der seltsamen Erscheinung glaubte Pasteur im Molekül selbst und zwar in seinem inneren Aufbau erblicken zu müssen. „Es kann nicht bezweifelt werden, daß es eine Gruppierung der Atome gibt, welche einer asymmetrischen, nicht zur Deckung zu bringenden Anordnung entspricht.“ Schon früher hatte Wol-

laston zur Deutung anderer Erscheinungen eine „geometrische Vorstellung der relativen Anordnung der elementaren Atome in allen drei Dimensionen des körperlichen Raumes“ gewinnen wollen, ohne jedoch Erfolg zu haben, da ihm — und auch Laurent, Gmelin usw., die ähnliches versuchten — die Grundvorstellungen der Strukturchemie noch nicht zur

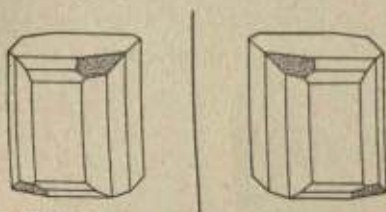


Abb. 1. Kristalle von weinsaurem Natrium-Ammonium.
Ein an die Gerade gehaltener Spiegel zeigt, daß jede Form
das Spiegelbild der anderen ist.

Verfügung standen. Im Jahre 1873 lernte Joh. Wislicenus neben der aus der Milch gewonnenen, optisch inaktiven (also die Polarisationssebene nicht drehenden) Milchsäure noch eine aus Fleisch zu gewinnende isomere Milchsäure kennen, welche die Polarisationssebene nach rechts dreht. Er war der Meinung, eine solche Verschiedenheit isomerer Stoffe von derselben Strukturformel könne man nur durch die Annahme verschiedener räumlicher Lage der Atome im Molekül erklären. Diesen Gedanken nahm J. H. van't Hoff auf und legte damit den Grund zur Stereochemie (1874).

Das Raumbild der Moleküle in der Stereochemie. Bei den Strukturformeln drückten wir die Valenzen durch Striche in der Schreibe b e n e aus, weil es gar keine andere Möglichkeit bei der schriftlichen Darstellung gab. Man kann sich aber sehr wohl eine räumliche Verteilung der Valenzen vorstellen. Mit van't Hoff denken wir uns die vier Valenzen des Kohlenstoffs durch vier gleichlange Strecken dargestellt, die vom Kohlenstoffatom aus unter gleichen Winkeln in den

Raum verlaufen. Die vier Endpunkte bilden dann die Ecken eines Tetraeders, d. h. einer von vier gleichgroßen regelmäßigen Dreiecken begrenzten Pyramide. Keine der Tetraederecken ist geometrisch irgendwie bevorzugt, d. h. es ist für das Aussehen des Körpers völlig gleichgültig, welche der Ecken wir als Spitze des Körpers gelten lassen. Wir denken uns zwei gleiche Tetraeder auf den Tisch gestellt (Abb. 2 zeigt die Ansicht von oben), die Spitze sei a genannt, die



Abb. 2. Zwei Tetraeder von oben gesehen. Jede Form ist das Spiegelbild der anderen.

Ecken der Grundfläche heißen wir b, c und d, aber einmal links und einmal rechts herum. Dann lassen sich diese Körper nicht derart zur Deckung bringen, daß jede Ecke mit ihrer gleichnamigen zusammenfällt; beide Tetraeder verhalten sich wie Bild und Spiegelbild.

Wenn wir uns in die Mitte jedes Tetraeders das Atom C, an die vier Ecken aber die Atome bzw. Atomgruppen H, OH, CH₃ und COOH denken, haben wir die Spiegelbildformen der Milchsäuren, der linksdrehenden und der rechtsdrehenden („Fleischmilchsäure“). Die Salze beider Säuren kristallisieren in Formen, die in sich keinerlei Symmetrie aufweisen, zu einander aber spiegelbildlich sind. Aus gleichen Mengen beider Säuren erhält man die optisch inaktive sog. Gärungsmilchsäure, deren Salze symmetrische Kristallformen liefern.

Die Raumisomerie, wie sie hier bei der Milchsäure und sonst bei allen optisch aktiven Stoffen vorliegt, ist nach van't Hoff durch die unsymmetrische Lage der Atome bzw.

Atomgruppen an den Tetraederecken des Kohlenstoffatoms bedingt, kurz gesagt durch ein „asymmetrisches Kohlenstoffatom“. Diese Bezeichnung, an die wir uns gewöhnen müssen, ist freilich höchst unglücklich gebildet, haftet doch der Symmetriemangel nicht am Kohlenstoffatom, sondern an der Lage der anderen Atome zu ihm. Der Name hat sich aber bei den Fachleuten, die ja wissen, wie er gemeint ist, durchgesetzt und ist heute allgemein üblich.

Raumisomere Moleküle. Durch die neugewonnenen Vorstellungen lassen sich die sonst ganz unverständlichen physikalischen Verschiedenheiten von aktiven isomeren Stoffen sehr glücklich deuten, wie wir am Beispiel der Weinsäure zeigen wollen. Ihre inaktive Form besitzt ein symmetrisch gebautes Molekül, das in jeder seiner Symmetriehälften ein asymmetrisches Kohlenstoffatom besitzt, in der einen Hälfte ein linksdrehendes („Linkstetraeder“) und in der anderen ein rechtsdrehendes („Rechtstetraeder“). Die Verkettung von Links- und Rechtstetraeder hebt die Drehung der Polarisationssebene völlig auf: das Molekül ist optisch inaktiv. Das Molekül der Rechtsweinsäure besteht aus zwei verketteten Rechtstetraedern, das der Linksweinsäure aus zwei Linkstetraedern. Beim Mischen gleicher Mengen Rechts- und Linksweinsäure sind ebensoviele rechtsdrehende wie linksdrehende Moleküle vorhanden, wir haben es jetzt mit der inaktiven Traubensäure zu tun (Anm. 7).

Die Möglichkeit der Trennung eines inaktiven Stoffes in seine gegensinnig drehenden Bestandteile hat Pasteur schon im Jahre 1848 für die Traubensäure in Form ihres Natriumammoniumdoppelsalzes festgestellt. Beim Verdunsten der wässerigen Lösung scheiden sich unter 28 Grad die zwei verschiedenen Kristallformen des Salzes aus, die getrennt gelöst gegensinnige Drehung der Polarisationssebene hervorrufen. Beim Auskristallisieren einer Lösung des Strychnin-

salzes von Gärungsmilchsäure erhält man zuerst die Kristalle der linksdrehenden und dann die der rechtsdrehenden Form.

Besonders eigenartig ist ein anderes von Pasteur (1858) entdecktes biochemisches Trennungsverfahren, bei dem man eine Mikroorganismenkultur die eine aktive Form aufzehren läßt (Anm. 8). Der Pinselschimmel (*Penicillium glaucum*) verzehrt bei Züchtung in wässriger Lösung von inaktiver Traubensäure nur die Rechtsweinsäure (Anm. 9). Man kennt aber (Pfeffer 1895) auch eine Bakterienart, welche zunächst die Linksweinsäure als Nährstoff aufnimmt, ehe sie an die Verarbeitung der Rechtssäure geht. Der *Bacillus subtilis* bevorzugt dagegen keinen der beiden Stoffe. Bei Züchtung von *Penicillium* in einer Lösung des Ammoniumsalzes der inaktiven Gärungsmilchsäure bleibt nur das entsprechende Salz der Rechtssäure übrig. Neuerdings hat man auch einen Spaltpilz entdeckt, der von der ursprünglichen Lösung nur das Salz der Linkssäure übrig läßt und nach dieser Eigenschaft „Bazillus der Linksmilchsäure“ (*Bacillus acidilaevo-lactici*) heißt. Da man in den Stoffwechsel der Bakterien noch keinen ausreichenden Einblick hat, fehlt jede Erklärung für das Unterscheidungsvermögen, das solch niedere Lebewesen gegenüber Stoffen besitzen, die bei völlig gleichen Bestandteilen verschieden gebaute Moleküle haben.

Die durch rein chemische Verfahren nicht erkennbare Andersartigkeit der Moleküle verrät sich demnach nicht allein durch die Einwirkung auf polarisiertes Licht. Sogar die physiologische Wirkung ist nicht immer die nämliche. Man kennt z. B. das in der Spargel entdeckte Asparagin in zwei stereoisomeren Formen, von denen die linksdrehende fade, die rechtsdrehende süß schmeckt. Das die Gefäße stark verengende und deshalb ärztlich verwertete, aus der Nebenniere gewonnene Adrenalin dreht die Polarisationssebene links und übertrifft die rechtsdrehende Form erheblich an Wirksamkeit.

Ungelöste Rätsel der Molekül-Raubilder. Beim Vorhandensein mehrerer asymmetrischer Kohlenstoffatome im Molekül sind die Schwierigkeiten der Zusammenhangserklärung ganz außerordentlich, ja oft unüberwindbar. Das schon lange bekannte, aus der Rinde des südamerikanischen Baumes *Cinchona calisaya* gewonnene Chinin, das als Sulfat oder Chlorid ein wertvolles Fiebermittel ist, besitzt ein aus 48 Atomen aufgebautes Molekül von der Formel $C_{20}H_{24}N_2O_2$. Wie diese Atome zusammenhängen, weiß man erst seit dem Jahre 1909. Die Schwierigkeit der Enträtselung der Raumformel mag man daraus ermessen, daß vier asymmetrische Kohlenstoffatome vorhanden sind. Solange man von einem derart verwickelt zusammengesetzten Körper den räumlichen Molekularbau nicht kennt, kann von einer künstlichen Darstellung gar keine Rede sein. Dabei liegen im Falle des Chinins die Verhältnisse noch einfach! Aus dem Pferdeblut kann man leicht in reinem Zustand das rot kristallisierende Oxyhämoglobin gewinnen, das dem arteriellen Blute seine hellrote Farbe verleiht. Sein Molekül enthält 1765 Atome, hat die Formel $C_{650}H_{881}N_{149}S_2FeO_{177}$ und besitzt vielleicht einige Hundert asymmetrische Kohlenstoffatome!! Wir wollen einmal annehmen, es gelinge die hier vorhandene Verkettung von Atomen und Atomgruppen aufzudecken, also die Raumformel zu gewinnen (vorerst sind wir freilich davon noch weit entfernt!). Erst dann könnte man versuchen, die Bestandteile nach dieser Raumformel aneinanderzufügen, also den Körper künstlich aufzubauen. Die Wahrscheinlichkeit dieses Erfolges ist, wie ersichtlich sein dürfte, verschwindend klein; eher gewinnt man zehnmal nacheinander das große Los!

Bei den sehr zahlreichen und schönen Erfolgen der Stereochemie darf man den Umstand nicht aus den Augen verlieren, daß sie uns zwar gute und anschauliche Erklärungen, vorläufig aber noch nicht eigentliche Gesetze liefert, versagt

sie doch auch zuweilen, wie ein Beispiel zeigen möge: Für die Zimtsäure sind theoretisch nur zwei Formen möglich. Man hat aber drei, ja nach E. Erlenmeyer junior sogar sechs dargestellt. Der Däne Biilman hat zwar (1910) den Widerspruch zu beheben versucht, jedoch scheinen nach den sorgfältigen Arbeiten (1914) von Stobbe hier doch Isomeriefälle vorzuliegen, deren Wesen noch vollkommen in Dunkelheit gehüllt ist.

Gesetzmäßigkeiten in den Atomgewichten. In den chemischen Lehrbüchern findet man schon in verhältnismäßig früher Zeit die Elemente nach ihrer chemischen Ähnlichkeit zu Gruppen vereinigt. Als „Alkalimetalle“ faßt man Lithium, Natrium und Kalium zusammen. Magnesium, Kalzium, Strontium und Baryum sind die „Metalle der alkalischen Erden“, Chlor, Brom und Jod sind „Halogene“. Bei den zuletzt genannten Elementen fiel Döbereiner eine eigentümliche Beziehung zwischen den Atomgewichten auf, liegt doch das Atomgewicht 79,92 von Brom nahe bei der Mitte zwischen den entsprechenden Zahlen 35,46 von Chlor und 126,92 von Jod. Bei den Alkalimetallen Lithium (6,94), Natrium (23,00) und Kalium (39,10) trifft dies noch viel besser zu, liegt doch 23,00 ganz dicht bei der Mitte zwischen 6,94 und 39,10. Rein deduktiv erschloß Döbereiner aus noch weiteren Beispielen die Bedeutung der Dreizahl (Trias oder Triade) für die natürlichen Gruppen der Elemente. Bei Newlands findet sich (1864) die Beobachtung, daß in einer nach Atomgewichten geordneten Elementartafel die chemisch ähnlichen Grundstoffe nahezu gleiche Abstände voneinander aufweisen. Lothar Meyer bemerkte im Jahre 1864 zunächst an 28 und später (1868) an 52 Elementen die regelmäßige Wiederkehr („Periode“) gleicher oder ähnlicher Eigenschaften der Elemente bei gleichmäßigem Wachsen der Atomgewichte. Ganz unabhängig von dem deutschen For-

scher gelangte (1869) der Russe Mendelejeff zu dem nämlichen Ergebnis. Man erhält das von beiden geschaffene „periodische (oder natürliche) System der Elemente“, wenn man in einer Tafel die nach steigenden Atomgewichten geordneten Grundstoffe derart einträgt, daß die zu einer natürlichen Gruppe gehörenden jeweils eine Spalte bilden. Die Tafel 2 am Schluß zeigt das Ergebnis.

Obwohl nur auf das Atomgewicht geachtet wurde (abgesehen von einigen noch anzuführenden Unstimmigkeiten), ergeben sich die richtigen Zusammenstellungen nach der Wertigkeit. In der Spalte 0 finden wir die bei der Schaffung des Systems noch unbekanntten Edelgase, die sich mit ihrer den Mangel an Verbindungsfähigkeit andeutenden Nullwertigkeit ungezwungen in das System eingefügt haben. Die nächste Spalte enthält die einwertigen Elemente, die folgende die zweiwertigen usw. Die oben erwähnten Gruppen der Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Halogene usw. füllen jeweils eine Spalte aus. Innerhalb einer Spalte findet man die Reihenfolge, in der sich die betreffenden Elemente nach ihren Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Siedepunkt, Dichte, Verbindungsfähigkeit usw., ordnen. Das elektrische Verhalten drückt sich nicht in den senkrechten Spalten, sondern in den wagrechten Zeilen aus. Verstöße gegen die Reihenfolge nach steigenden Atomgewichten sehen wir bei Kalium und Argon, sowie bei Tellur und Jod. Nach den neuesten Forschungen müssen diese Verstöße nicht etwa dem System zuliebe hingenommen werden, sie haben vielmehr, wie wir noch erfahren werden, sich anderweitig als notwendig erwiesen.

Wie man geradezu aus dem periodischen System auf ein Atomgewicht schließen kann, zeigt die Einordnung des Berylliums, dessen Atomgewicht Mendelejeff noch nicht bekannt war. Man wußte nur die Zusammensetzung des Berylliumoxyds, nämlich 36 % Beryllium und 64 % Sauerstoff.

Das Element konnte zwei- oder dreiwertig sein. Im ersten Falle wäre die Formel BeO und es müßte $\text{Be} = 9$ sein, weil (bei $\text{O} = 16$) $9 : 16 = 36 : 64$ ist. Im zweiten Falle wäre die Formel Be_2O_3 und es müßte $\text{Be} = 13,5$ sein, weil (bei $\text{O} = 16$) $2 \cdot 13,5 : 3 \cdot 16 = 27 : 48 = 36 : 64$ ist. Da zwischen Lithium und Bor Platz für ein zweiwertiges, dagegen nirgends mehr Platz für ein dreiwertiges Element war, da ferner das Berylliumoxyd dem Magnesiumoxyd ähnelt, konnte das Beryllium nur zwischen Lithium und Bor, sowie über Magnesium stehen und mußte das Atomgewicht 9 haben. Erst im Jahre 1884 konnte F. Nilson gemeinsam mit O. Petersson durch Bestimmung der Dampfdichte von Chlorberyllium und von anderen (organischen) Verbindungen des Elements die Bestätigung für die vermutete Atomgewichtszahl geben.

Bei Aufstellung des periodischen Systems nahm man noch $\text{Ir} = 197$, $\text{Pt} = 198$ und $\text{Os} = 199$ an. Das konnte nicht stimmen, denn das Osmium müßte wegen seiner Ähnlichkeit mit Ruthenium und Eisen am Anfang stehen und das kleinste Atomgewicht (gegenüber Iridium und Platin) haben. Durch eine erneute sehr genaue Bestimmung der Atomgewichte (1890) fand K. Seubert $\text{Os} = 191$, $\text{Ir} = 193$ und $\text{Pt} = 195$. In dieser Folge passen die Elemente trefflich in das System und bilden zugleich eine Triade im Döbereinerschen Sinne, da 193 in der Mitte von 191 und 195 liegt.

Errechnete Elemente. In einer Lücke, welche das System unter dem Aluminium aufwies, vermutete Mendelejeff (1869) ein dreiwertiges Element und nannte es Ekaaluminium. (Die Zahl Eins heißt im Sanskrit Eka.) Im Jahre 1875 entdeckte Lecoq de Boisbaudran in einer südfranzösischen Zinkblende ein durch violette Spektrallinien sich anzeigendes Element, dem er seiner französischen Heimat zu Ehren den Namen Gallium gab. Wegen der sehr kleinen Mengen ließen sich nur recht ungenaue Mitteilungen über das Ele-

ment machen. Mendelejeff erkannte aber trotzdem sein Ekaaluminium, gab das Atomgewicht zu etwa 68 und das spezifische Gewicht zu 5,9 an. Als größere Mengen zur Verfügung standen, erwiesen sich diese Voraussagungen nahezu völlig als richtig.

Unterhalb des Bors vermutete Mendelejeff ein das Atomgewicht 44 besitzendes, dreiwertiges Element, das „Ekabor“, dessen Oxyd das spezifische Gewicht 3,5 haben sollte. Im Jahre 1879 entdeckten F. Nilson und Cleve das vorausgesagte Element in skandinavischen Mineralien und nannten es deshalb Scandium. Sein Atomgewicht ist 45,10, das spezifische Gewicht seines Oxyds 3,86.

In der Spalte des Siliziums vermutete Mendelejeff (1869) ein zweiwertiges Element, das „Ekasilizium“. Sein Atomgewicht sollte 72,85, sein spezifisches Gewicht 5,5, dasjenige des Oxyds 4,7 sein. Sein Tetrachlorid wurde als eine unter 100 Grad siedende Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 1,9 vorausgesagt. Clemens Winkler entdeckte später (1886) das Element im Argyrodit von Freiberg i. Sa. und nannte es Germanium. Sein Atomgewicht fand man zu 72,5, sein spezifisches Gewicht zu 5,47 und das des Oxyds zu 4,7. Sein Tetrachlorid ist tatsächlich eine bei 86 Grad siedende Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 1,89.

Bei solch glänzenden Bestätigungen von Folgerungen aus den Gesetzmäßigkeiten des periodischen Systems drängt sich ein Vergleich auf mit dem bedeutendsten Erfolg der rechnenden Sternkunde, die Leverrier ermöglichte, aus den Störungen des 1781 entdeckten Planeten Uranus die Bahn eines völlig unbekanntem Wandelsterns, des Neptuns, auf mathematischem Wege zu bestimmen (1846), und die Richtigkeit der Folgerungen durch die alsbaldige, den Namen von Galle verewigende Entdeckung des Wandelsterns nahe am errechneten Orte bestätigt erhielt.

Wärme und Molekularbewegung. Beim Zusammenbringen von zwei verschieden warmen Körpern beobachten wir nach einiger Zeit einen Warmheitsausgleich: der warme Körper hat sich abgekühlt, der kältere ist wärmer geworden. Zur Erklärung dieser und ähnlicher Erscheinungen, wie sie das tägliche Leben in reicher Fülle bietet, schuf man die vor allem im achtzehnten Jahrhundert gut ausgebildete Anschauung, die Wärme sei ein unwägbarer Stoff, der wie eine Flüssigkeit oder ein Gas zu strömen vermöge und einen Körper durch Vermehrung oder Verminderung der augenblicklichen Stoffmenge erwärme oder abkühle. Da die Folgerungen aus der sehr anschaulichen Annahme selbst der rechnerischen Behandlung in befriedigender Weise genügten, stiegen keinerlei Zweifel auf, zumal da man eine wesentliche Schwierigkeit übersah: Eine Erwärmung bedingte notwendig eine Abkühlung der Umgebung. Beim heißlaufenden Radlager, bei der Erhitzung eines kräftig gehämmerten Eisens oder einer Münze unter dem Prägestempel war von einer solchen Abkühlung nicht das Geringste zu bemerken. Bei sorgfältigen Versuchen fand (1798) Rumford im Militärzeughaus zu München eine sehr beträchtliche Erhitzung von Kanonenrohren, die unter Wasser ausgebohrt wurden; die geforderte Abkühlung blieb aber vollkommen aus. Das reichliche Zuströmen von Wärmestoff in Rohr und Bohrer hätte das Wasser sehr stark abkühlen, ja sogar gefrieren lassen müssen. Die übliche Erklärung versagte, und Rumford mußte die Ursache der Wärmeerzeugung lediglich in der Bewegung des Bohrers erblicken.

Derartigen Beobachtungen, die sich noch vermehren ließen, stand man zunächst ratlos gegenüber, hielt aber an der lieb gewordenen (weil bequemen!) Wärmestoff-Annahme weiterhin fest. Der Heilbronner Arzt Robert Mayer erkannte (1842 f.) die Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit als ein Grundgesetz der Natur, auf das Clausius (seit 1850) die

mechanische Wärmetheorie stützte. Wenn man die Wärme als eine Bewegung der Moleküle auffaßt, lassen sich alle Wärmevorgänge sehr einfach nach den Grundlehren der Mechanik deuten. Bei Rumfords obengenanntem Versuch wird die sichtbare Bewegung des Bohrers in eine unsichtbare Bewegung der Moleküle von Rohr, Bohrer und Wasser umgesetzt.

Molekularbewegung und Formart. Während die Chemie bei den bisher behandelten Gegenständen den Aufbau der Moleküle erforscht, eröffnet die mechanische Auffassung der Wärme einen Einblick in molekulare Bewegungsvorgänge. Wie die Molekularchemie durch Erscheinungen an Gasen ihre erste Ausgestaltung erfahren hat, hebt auch die Molekularphysik mit der Erforschung des gasförmigen Zustandes an. Schon D. Bernoulli hatte (1738) die Spannkraft eines Gases durch die Annahme einer Molekularbewegung erklärt, ohne diesen Gedanken weiter auszuspinnen. Erst A. Krönig hat (1856) die Gaseigenschaften aus Bewegungsvorgängen abgeleitet („Kinetische Theorie der Gase“) und damit eine Betrachtungsweise geschaffen, die durch Clausius, Maxwell, O. E. Meyer, Boltzmann und andere die wertvollsten Aufschlüsse geliefert hat.

Einem ungeheuren Mückenschwarm ist die Bewegung der Moleküle eines Gases zu vergleichen. Mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen sie sich geradlinig, stoßen an die Gefäßwände, prallen von diesen ab, stoßen mit anderen Molekülen zusammen usw. Über den Zickzackweg eines einzelnen Moleküls, das wir etwa verfolgen wollen, können wir nichts aussagen, wohl aber über die lebendige Kraft aller Moleküle zusammen. Sie wächst, wie die Mechanik zeigt, mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, welche hier mit dem Durchschnittswert aller Molekülgeschwindigkeiten in die Formeln eintritt, deren Herleitung oder Mitteilung nicht unsere Absicht sein kann. Die mathematische Be-

trachtung, zu der übrigens nur geringe Vorkenntnisse erforderlich sind, führt zu den uns schon bekannten Gasgesetzen und liefert schließlich Durchschnittswerte für die Geschwindigkeiten der Moleküle. Bei 0 Grad und dem gewöhnlichen mittleren Druck beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle für Wasserstoff etwa 1800 Sekundenmeter, für den sechzehnmal so schweren Sauerstoff ein Viertel des Wertes, also etwa 450 Sekundenmeter. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten sind, wie man sieht, recht groß und erinnern an die Schnelligkeiten von Geschossen. Man muß noch beachten, daß die Moleküle wegen der vielen Zusammenstöße diese sekundlichen Wege nicht in einem geraden Stück durchfliegen. Die durchschnittliche freie Weglänge zwischen zwei Zusammenstößen läßt sich un schwer errechnen. Wegen der außerordentlichen Kleinheit benutzen wir künftig die für die Molekularwelt üblichen Längeneinheiten. Den tausendsten Teil eines Millimeters heißt man ein Mikron (geschrieben 1μ , gelesen „ein Mü“), den tausendsten Teil eines Mikrons oder, was dasselbe ist, den millionsten Teil eines Millimeters ein Millimikron (geschrieben $1 \mu\mu$, gelesen „ein Mümü“ oder „ein Millimü“). Für Wasserstoff beträgt die mittlere freie Weglänge (bei 0 Grad und Atmosphärendruck) $178 \mu\mu$, für Sauerstoff $103 \mu\mu$. Ein Wasserstoffmolekül, das sekundlich 1800 Meter zurücklegt, nach $178 \mu\mu$ aber bereits ein anderes Molekül trifft, führt in einer Sekunde so viel Zusammenstöße aus, als $178 \mu\mu$ in 1800 Metern oder in 1,8 Billionen $\mu\mu$ enthalten sind, in runder Zahl demnach 10 Milliarden!

Als wir von Avogadros Regel handelten, war die Zahl der Moleküle in einem bestimmten Raume vorerst noch unbekannt. Sie läßt sich aber leicht berechnen und zwar nach verschiedenen Verfahren, die wegen Raummangel hier nicht zur Erörterung stehen können. Der österreichische Physiker J. Loschmidt hat (1865) als erster berechnet, wie-

viel Moleküle im Molvolumen enthalten sind. Seine Vermutung, die Zahl müsse in den Tausendtrillionen liegen, hat sich in der Folgezeit bestätigt. Seit 1900 kennt man den genauen Wert dieser „Loschmidt'schen Zahl“, nämlich 606 000 Trillionen. So viel Moleküle finden sich in 22,4 Litern oder in 22 400 Kubikzentimetern. Demnach ist die „Avogadro'sche Zahl“, d. h. die Zahl der Moleküle in einem Kubikzentimeter, rund 27 Trillionen. In nahezu allen Werken, die von diesen Dingen handeln, benennt man die von Loschmidt gefundene Zahl nach Avogadro und umgekehrt. Dieser Fehler erklärt sich aus der Abneigung der meisten Naturwissenschaftler gegen die genauere Kenntnis des Entwicklungsganges ihres Wissensgebietes oder aus dem Nichtkennen der Quellen.

Bisher nahmen wir eine unveränderliche Warmheit von 0 Grad an und lassen nun diese Beschränkung fallen. Bei Erwärmung dehnt sich das Gas aus, die durchschnittliche freie Weglänge der Moleküle wächst. In einem unausdehnbaren Gasbehälter bedingt die Erhöhung der Molekularbewegung einen stärkeren Druck auf die festen Wände. Beim Abkühlen des Gases oder durch starkes Zusammenpressen (oder durch beides gleichzeitig) nähern sich die Moleküle, bis jedes von ihnen unter den anziehenden Einfluß seines jeweiligen Nachbarn gerät, sich aber doch noch bewegen, nur nicht mehr aus der Gesamtmasse entfernen kann: das Gas ist zur Flüssigkeit geworden. Nur an der Oberfläche werden gelegentlich Moleküle aus dem Verband austreten können, d. h. die Flüssigkeit kann verdunsten.

Mit fortschreitender Abkühlung beschränken die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen deren Bewegung immer mehr. Jedes Molekül kann schließlich nur noch kleine Schwingungen um eine mittlere Lage ausführen: die Flüssigkeit ist zum festen Körper geworden. Die außerordentlich raschen und sehr kleinen Schwirrbewegungen der ungeheuer zahlreichen Moleküle erwecken in uns die Vor-

stellung, als sei der Körper „fest“, wie etwa ein mit einem Motor außerordentlich rasch um einen Durchmesser gedrehter Metallring den Eindruck einer „festen Kugel“ macht und sich gegenüber einem aufprallenden Körper, Wasser- oder Lichtstrahl durchaus wie eine solche verhält.

Die drei Formarten, in denen wir die Stoffe kennen (der feste, flüssige und gasige Zustand) finden durch die Molekularbewegung eine ungezwungene Erklärung, die den schärfsten Prüfungen standhält. Nicht die Moleküle sind fest, flüssig oder gasig, sondern ihre Gesamtheit erweckt durch den Bewegungszustand die Vorstellung des festen, flüssigen oder gasigen Körpers (Anm. 10).

Größe und Masse der Moleküle und Atome. Aus dem Vergleich der größten Dichte eines verflüssigten Gases mit der beim Atmosphärendruck geltenden Gasdichte (bei Sauerstoff ist dieses Verhältnis etwa 900 : 1) kann man von der mittleren freien Weglänge auf den Durchmesser des als kugelförmig angenommenen Moleküls schließen. Man findet ihn für Wasserstoff zu 0,20 $\mu\mu$, für Sauerstoff zu 0,26 $\mu\mu$, für Quecksilber zu 0,28 $\mu\mu$, für Chlor zu 0,40 $\mu\mu$ usw. Bei einatomigem Molekül (wie Quecksilber, Helium usw.) ist dies zugleich der Atomdurchmesser. Bei den anderen Stoffen läßt sich nur sagen, daß der Durchmesser eines Atoms (wenn man es sich kugelförmig denkt) in den Zehntel Millimikron liegen muß.

Auch über die Masse eines Moleküls können wir etwas aussagen. Da das Molvolumen Wasserstoff 2 Gramm wiegt und 606 000 Trillionen Moleküle enthält, ist die Masse des zweiatomigen Wasserstoffmoleküls, wie eine einfache Teilung zeigt, 3,3 Quadrilliontel Gramm; das Wasserstoffatom hat demnach eine Masse von 1,65 Quadrilliontel Gramm. Durch Vervielfachen mit dem betreffenden Atomgewicht erhält man die Masse des Atoms irgendeines Elements.

Was die Masse eines Kilogrammes gegenüber derjenigen der ganzen Erde bedeutet, ist etwa auch die Masse eines Wasserstoffatoms gegenüber derjenigen eines Grammes! In einem Mikroskop von millionfacher Streckenvergrößerung, wie wir sie niemals erreichen können, würde das Wasserstoffatom erst einen Durchmesser von einem Fünftel Millimeter aufweisen.

Moleküle in Lösungen. Die kinetische Theorie hat auf einem lange ungepflegten Felde Früchte getragen, das einst Hittorf zu den Worten veranlaßte: „Kein chemischer Prozeß ist so lange bekannt und so oft veranlaßt, wie die Auflösung eines Stoffes in geeignetem Lösungsmittel. Wässrige Lösungen nehmen wir ja täglich in großer Zahl als Nahrung zu uns, und alle Vorgänge im tierischen wie pflanzlichen Organismus werden durch solche vermittelt. Obschon daher seit den ältesten Zeiten die Menschheit mit dem Lösungsvorgang empirisch vertraut war, blieb dennoch kein chemischer Prozeß in theoretischer Hinsicht dunkler.“

Salzteilchen, die in Wasser gelöst sind, sinken trotz ihrer größeren Schwere nicht zu Boden, weil die Moleküle von Salz und Wasser nach den früheren Ausführungen in steter Bewegung sind. Dabei üben sie durch ihre Stöße den sog. osmotischen Druck (d. h. Stoßdruck) aus, der leicht nachzuweisen und zu messen ist. Aus den zu diesem Fragenbereich durch den Botaniker W. Pfeffer gelieferten Untersuchungen (1877) hat van 't Hoff wichtige Gesetze für das gleichartige Verhalten der Stoffe im Gaszustand, in flüssiger (1884 f.) und in fester (1890 f.) Lösung gewonnen (Anm. 11). Nach ihm ist der osmotische Druck gleich derjenigen Spannung, die der (gelöste) Stoff als Gas in dem von der Lösung eingenommenen Raume ausüben würde. Für zwei an sich verschiedene, aber denselben osmotischen Druck aufweisende Lösungen heißt das: sie enthalten im

gleichen Raume dieselbe Zahl gelöster Moleküle. Man erkennt sofort Avogadros Regel wieder. Da demnach Stoffmengen, die sich wie die Molekulargewichte verhalten, in gleichen Lösungsmengen denselben osmotischen Druck bedingen, ist eine Möglichkeit zur einfachen Bestimmung des Molekulargewichts löslicher Stoffe gegeben. Dabei kommt es auf die Art des Lösungsmittels nicht an.

Ein Beispiel: Für eine Lösung von 10 Gramm Harnstoff in einem Liter Wasser findet man einen osmotischen Druck von 3,7 Atmosphären. Da ein Liter Wasserstoff bei einer Atmosphäre 0,09 Gramm wiegt, enthält er bei 3,7 Atmosphären die 3,7fache Gewichtsmenge, d. h. 0,333 Gramm Wasserstoff. Lösung und Gas haben gleichen Raum und gleichen Druck (gleiche Warmheit von 0 Grad vorausgesetzt), daher auch gleiche Molekülzahl. Da, wie eine einfache Teilung zeigt, der Harnstoff das Dreißigfache des Wasserstoffs wiegt, ist das Molekulargewicht des Harnstoffs das Dreißigfache des Wasserstoffmolekulargewichtes 2, ist also 60, entspricht demnach der durch die chemische Analyse gewonnenen Formel CON_2H_4 ; es ist ja $1 \cdot 12 + 1 \cdot 16 + 2 \cdot 14 + 4 \cdot 1 = 60$ (Anm. 12).

Das geschilderte Verfahren ist namentlich für Stoffe wertvoll, die sich nicht verdampfen lassen, ohne sich chemisch zu zersetzen. Der physikalischen Chemie ist dadurch ein hochwertiges Forschungsmittel geschaffen, das sich in mannigfacher Ausgestaltung trefflich bewährt hat.

Molekülstöße auf Schwebeteilchen (Brown'sche Bewegung). Bei den sehr weit gehenden Folgerungen aus der kinetischen Theorie ist der Wunsch nach einer Bestätigung durch Versuche sehr begreiflich. Durch die sog. Brown'sche Bewegung ist er erfüllt. Im Jahre 1827 hatte der Botaniker Brown bei der mikroskopischen Betrachtung von aufgeschwemmtem Blütenstaub der damals gerade aus Nordame-

rika eingeführten „hübschen Clarkie“ (*Clarkia pulchella*) eine lebhaftige Bewegung der nur 5μ langen Körperchen bemerkt. Chr. Wiener erklärte (1863) den Vorgang durch die Molekülstöße der Flüssigkeit. Sehr eingehende Versuche, wie sie (1910) von Perrin mit Teilchen von $0,25 \mu$ bis 12μ und (1912) durch The Svedberg angestellt worden sind, lassen die Zickzackbahnen (Abb. 3) der kleinsten Schwebeteilchen als Folge der Molekülbewegung erkennen: durch den Anprall der Moleküle werden die Teilchen hin und her geworfen. Die Brownsche Bewegung, die übrigens auch an schwebenden Stäubchen für Gase und zwar erstmals (1881) durch Bodaszewski erwiesen wurde, zeigt nicht, wie man oft liest, die Molekülbewegung selbst, ist aber deren unbezweifelbare Folge.



Abb. 3. Die Zickzackbahnen der Brown'schen Bewegung lassen die Molekülstöße auf Schwebeteilchen erkennen.

Weitere Beweise für die Bewegung der Moleküle. Man hat der kinetischen Theorie gegenüber häufig Mißtrauen gezeigt, weil sie nur Zahlenwerte aus der Welt der Moleküle und Atome lieferte. In der Tat fehlte ihr die volle Beweiskraft, so lange sie nicht auch anderweitig bekannte oder sonst gut meßbare Größen zu berechnen gestattete. Dieser Mangel ist längst behoben, liefert sie doch z. B. das Verhältnis der spezifischen Wärmen von Gasen, das auch aus der Schallgeschwindigkeit leicht zu erhalten ist, das Verhältnis der Koeffizienten von Wärmeleitung und innerer Reibung und noch andere der Nachprüfung zugängliche Größen.

Eine sehr beachtenswerte Anwendung (und damit zugleich einen sehr guten Beweis) findet die kinetische Theorie bei der Molekularluftpumpe (1912) von W. Gäde, mit

der man unter Vorschaltung der von ihm (1908) angegebenen Kapselpumpe aus einem Raume die Luft bis zu einem Viermilliardstel ihrer ursprünglichen Menge herausschaffen kann.

Zwei Elektrizitäten. Dem Aufsehen, das in den letzten Jahrzehnten die Entdeckung der Röntgenstrahlen, des Radiums usw. auch in den der Naturwissenschaft fernerstehenden Kreisen erregte, läßt sich jenes vergleichen, das im achtzehnten Jahrhundert durch die rasch und zahlreich zudrängenden Entdeckungen in der Elektrizitätslehre erregt wurde. Geheimnisvolle und wundersame Äußerungen einer bis dahin kaum geahnten Naturkraft beschäftigten die Laien und zwangen die Forscher zur Deutung, die nicht leicht fallen konnte, weil man schon bei den einfachsten Versuchen zur Annahme von zwei grundsätzlich verschiedenen Elektrizitäten, die man bald als positive und negative bezeichnete, geführt wurde. Ohne damit tiefer in das Wesen der seltsamen Naturkraft einzudringen, dachte man ähnlich wie bei der Wärme an eine stoffliche Natur der unwägbaren Elektrizität. Benjamin Franklin begründete eine unseren heutigen Vorstellungen nahekommende Anschauung, ein unelektrischer Körper besitze eine gewisse Grundmenge Elektrizität und zeige sich positiv oder negativ elektrisch, wenn man irgendwie die Ladung vergrößere oder verkleinere. Gegenüber dieser „unitarischen Theorie“, die zur Erklärung aller Versuche vollauf genügt, hat sich eine „dualistische“ mehr durchgesetzt, die bis zum heutigen Tage lebenskräftig geblieben ist und aufs deutlichste zeigt, daß man auch in den Naturwissenschaften das Gefühl geschichtlicher Abhängigkeit nicht los wird (Anm. 13). Der Engländer Robert Symmer entschied sich nämlich (1759) für die Annahme zweier Elektrizitäten, die in einem unelektrischen Körper in gleichen Mengen vorhanden und durch gegenseitige Bindung nach außen unwirksam sind. Bei einem elektrischen Körper soll

die eine Elektrizität allein oder wenigstens im Überschuß auftreten. Das Elektrisieren läuft demnach auf eine (mindestens teilweise) Trennung der beiden Elektrizitätsstoffe hinaus.

Die vereinzelt beobachtete Zerlegung chemischer Verbindungen durch die Elektrizität, deren zwei Arten hierbei verschiedenes Verhalten zeigten, offenbarte einen neuen Zusammenhang physikalischer und chemischer Kräfte, der aber erst näher ergründet werden konnte, als A. Volta bei der Fortführung und Deutung der von Galvani im Jahre 1791 beschriebenen Froschenkelversuche die Erzeugung elektrischer Kraft auf chemischem Wege auffand, indem er z. B. je einen Streifen von Kupfer und Zink in verdünnte Schwefelsäure eintauchte. Mit einem recht empfindlichen Elektroskop kann man am Kupfer positive und am Zink negative Elektrizität nachweisen. Beim Verbinden der beiden Metallenden (der beiden „Pole“) durch einen Draht gleichen sich beide Elektrizitäten in diesem dauernd aus: positive Elektrizität fließt von dem Kupfer zum Zink, negative im Gegensinn. Aus Zweckmäßigkeitsgründen — und nur aus solchen! — spricht man von einer „Stromrichtung“ und denkt dabei an den Bewegungssinn der positiven Elektrizität, muß sich aber vor Augen halten, daß auch ein negativer Strom — und zwar in der Gegenrichtung — fließt (Abb. 4). Das muß gesagt sein, weil für neuere Erkenntnisse, die uns beschäftigen sollen, durch die willkürliche Benennung sprachliche Unbequemlichkeiten entstanden sind.

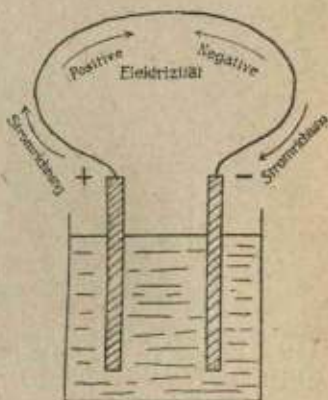


Abb. 4. Die „Stromrichtung“ gibt den Bewegungssinn der positiven Elektrizität an.

man am Kupfer positive und am Zink negative Elektrizität nachweisen. Beim Verbinden der beiden Metallenden (der beiden „Pole“) durch einen Draht gleichen sich beide Elektrizitäten in diesem dauernd aus: positive Elektrizität fließt von dem Kupfer zum Zink, negative im Gegensinn. Aus Zweckmäßigkeitsgründen — und nur aus solchen! — spricht man von einer „Stromrichtung“ und denkt dabei an den Bewegungssinn der positiven Elektrizität, muß sich aber vor Augen halten, daß auch ein negativer Strom — und zwar in der Gegenrichtung — fließt (Abb. 4). Das muß gesagt sein, weil für neuere Erkenntnisse, die uns beschäftigen sollen, durch die willkürliche Benennung sprachliche Unbequemlichkeiten entstanden sind.

Elektrische Zerlegung des Moleküls. Bei denjenigen Flüssigkeiten, welche die Elektrizität zu leiten vermögen, erzielt man mit dem Strom, der mittelst eingetauchter Bleche (etwa aus Platin) hindurchgesandt wird, eine chemische Zerlegung, die man nach ihrer Ursache Elektrolyse nennt. Seit Faraday, der in diesem Wissensbereich grund-

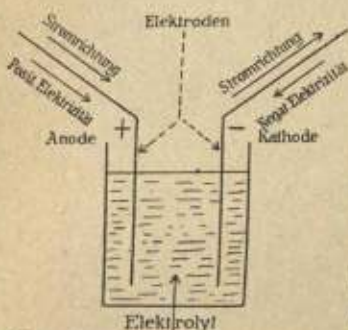


Abb. 5. Für den Vorgang der Elektrolyse gab Faraday zweckmäßige Fachausdrücke.

legend tätig war, heißt man das Blech an der Stromeintrittsstelle (am positiven Pol) Anode, dasjenige an der Austrittsstelle (am negativen Pol) Kathode und beide gemeinsam Elektroden (oder Pole) (Abb. 5). Ein Beispiel: Bei der Elektrolyse von Salzsäure, d. h. der wässrigen Lösung von Chlorwasserstoffgas (HCl), gewinnt man an der Anode Chlor und an der Kathode Wasserstoff.

Die Abscheidung erfolgt, wie man schon frühzeitig bemerkt hat, ausschließlich an den Elektroden, nicht etwa auch irgendwo innerhalb der Flüssigkeit.

Die ungezwungenste Erklärung erhält man durch die Annahme, das an sich unelektrische (neutrale) Molekül bestehe aus zwei verschiedenen Teilen mit gleichgroßen, aber entgegengesetzten Elektrizitätsmengen, und der positive Pol ziehe die negativen und der negative Pol die positiven Teilchen an. Diese wandernden mit Elektrizität behafteten Teilchen (es können geladene Atome oder Atomgruppen sein) nannte Faraday Ionen („Wandernde“). Das der positiven Anode zustrebende negative Ion heißt Anion; es erhält an der Anode eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Elektrizitätsmenge, wird dadurch unelektrisch und scheidet sich nun ab. Entsprechendes gilt von dem der negativen Ka-

thode zustrebenden positiven Kation. Die Frage, ob das Molekül erst unter der Einwirkung des Stromes in die Ionen zerfällt, muß verneint werden, weil die Abscheidung ohne den geringsten Zeitverlust sofort bei Stromschluß erfolgt. Der Zerfall (die Dissoziation) der Moleküle muß schon bei der Bildung des Elektrolyten (d. h. der zerlegbaren Flüssigkeit) aufgetreten sein. In unserem Beispiel: Reines Wasser leitet ebensowenig wie trockener Chlorwasserstoff den Strom. Beim Zusammenbringen beider zerfallen Chlorwasserstoffmoleküle in negative Chlorionen und positive Wasserstoffionen; der Stromdurchgang ist jetzt möglich. Größere Leitfähigkeit des Elektrolyten deutet auf Spaltung zahlreicherer Moleküle.

Was hier begreiflicherweise nur knapp geschildert werden muß und deshalb mancherlei Zweifel auftauchen lassen kann, hat sich trefflich ergänzen und bestätigen lassen. Der Ionenbegriff, scheinbar das Erzeugnis einer gewissen Willkür, bekam im Laufe der Zeit durch eine Reihe neuartiger Entdeckungen einen immer höheren Grad von Wahrscheinlichkeit und lenkte die physikalische Forschung zu einer atomistischen Auffassung der Elektrizität, die uns nun beschäftigen soll (Anm. 14).

Das Elektrizitätsatom. Sorgfältigen Messungen verdankt man die Feststellung, daß eine Elektrizitätsmenge von 96 540 Coulomb die Abscheidung von einem Gramm Wasserstoff erzielt. Weil das bei diesem Gase 2 Gramm wiegende Molvolumen, wie wir schon wissen, 606 000 Trillionen Moleküle enthält, kommen auf ein Gramm 303 000 Trillionen Moleküle oder, da das Wasserstoffmolekül zweiatomig ist, 606 000 Trillionen Atome, denen 96 540 Coulomb anhaften, die bei der Elektrolyse zur Entladung kommen. Das einzelne Wasserstoffatom oder besser gesagt Wasserstoffion trägt also, wie eine einfache Teilung ergibt, etwa den sechs-

4*

trillionsten Teil eines Coulomb, genauer 0,16 Trilliontel Coulomb. Bei der entsprechenden Untersuchung für andere Elemente kommt man zu Ionenladungen, welche die gleiche oder die 2, 3, 4...fache Größe haben. Niemals dagegen begegnet man einem Vielfachen, das durch einen echten oder unechten Bruch angegeben wird. Daher stellt die dem Wasserstoffion anhaftende Elektrizitätsmenge die kleinste bei der Elektrolyse auftretende Elektrizitätsmenge vor; sie bedeutet für die Elektrizität dasselbe, wie das Atom für die Stoffwelt. Das „elektrische Elementarquantum“, wie es Helmholtz (1881) nannte, weist also auf eine atomistische Teilung der Elektrizität hin. In seiner 1881 zu London gehaltenen Faraday-Rede äußerte H. von Helmholtz: „Wenn wir Atome der chemischen Elemente annehmen, so können wir nicht umhin weiter zu schließen, daß auch die Elektrizität, positive sowohl wie negative, in bestimmte elementare Quanta geteilt ist, die sich wie Atome der Elektrizität verhalten.“ Schon 1883 führte H. A. Lorentz das elektrische Elementarquantum in die Physik ein und nannte es (1895) nach einem 1891 von J. Stoney gemachten Vorschlag „Elektron“.

Aus dieser Vorstellung heraus verhält sich die Elektrizität wie ein weiteres chemisches Element, das offenbar als einwertig angesprochen werden muß, da sich ein Elektron mit einem Wasserstoffatom zu einem Wasserstoffion verbindet. Der im 18. Jahrhundert entstandene Glaube an einen besonderen Elektrizitätsstoff scheint auf den ersten Blick heute wieder Geltung zu haben, doch muß er weichen, wenn man die neueren Untersuchungen über die Elektronennatur berücksichtigt. Eine Hauptschwierigkeit verdient vor allem Beachtung: es gibt doch zwei Elektrizitäten. Gibt es auch zweierlei Elektronen? Gibt es auch freie Elektronen, die nicht an Atome anderer Elemente gebunden sind? Davon wird noch zu sprechen sein.

Das Spektrum. Den wichtigsten Beitrag, den die Lehre vom Licht zur Erkenntnis vom Atomaufbau beigesteuert hat, muß man in den Untersuchungen des Spektrums erblicken, jenes leuchtenden Farbbandes, das man sieht, wenn man einen von der Rückseite aus durch eine Glühlampe beleuchteten Spalt durch ein gewöhnliches Glasprisma betrachtet. In allmählichen Übergängen zeigt es die Farben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau, Violett. Wenn man die Glühlampe durch die Flamme eines Bunsenbrenners ersetzt, die man durch irgendein eingebrachtes und verdampfendes Natriumsalz gelb gefärbt hat, sieht man statt des Farbbandes nur noch eine helle gelbe Linie als Bild des Spaltes. Bei Rotfärbung der Flamme durch Lithium sieht man zwei Linien als Spaltbilder, im Rot und Orange. Bei Cäsium erblickt man je eine Linie in Rot, Orange und Grün, sowie zwei blaue Linien, die dem von Bunsen entdeckten Element seinen Namen gegeben haben (caesius = blaugrau). Wasserstoff, der sich wie andere Gase in verdünntem Zustand durch elektrische Entladungen zum Leuchten bringen läßt, zeigt je nach der Gasverdünnung 4—5 Linien, Helium 7 usw. Durch Beigabe von Beobachtungsfernrohr, Einteilung usw. läßt sich die aus Prisma und Spalt bestehende Vorrichtung zum Meßgerät, dem Spektralapparat, ausgestalten und so vervollkommen, daß man bei den einzelnen Elementen (z. B. Wasserstoff) bedeutend mehr Linien sieht, deren Fülle das Auge verwirren würde, wenn man mit dem Apparat nicht den Ort der Einzellinien festlegen könnte; liefert doch z. B. Eisen, das man im elektrischen Lichtbogen zum Verdampfen bringt, ungefähr 2000 Linien. Als Fraunhofer den Spalt mit Sonnenlicht beleuchtete, sah er zu seinem größten Erstaunen das Farbenband von einer sehr großen Zahl schwarzer Linien verschiedener Dicke durchsetzt. Die auffälligsten dieser „Fraunhoferschen Linien“ bezeichnet man noch heute seinem Vorschlage folgend mit den Buchstaben

A bis H und findet sich dadurch rasch im Spektrum zurecht. Für feinere Untersuchungen genügt diese Bezeichnungsweise nicht.

Jede im Spektrum auftretende Farbe ist, wenn man auf dem Boden der durch Huygens geschaffenen Wellenlehre des Lichtes steht, durch eine ganz bestimmte Schwingungszahl (oder Wellenzahl) des Äthers gekennzeichnet, genau so wie jeder Ton durch eine bestimmte Schwingungszahl der Luft. Wie bei der Tonleiter vom Grundton an bis zur Oktave die Zahl der den Einzelton liefernden sekundlichen Schwingungen auf den doppelten Betrag anwächst, entspricht die Farbenfolge des Spektrums vom Rot bis zum Violett gleichsam einer „Farbenoktave“, weil das Rot durch rund 380 Billionen, das Violett durch rund 760 Billionen sekundliche Ätherschwingungen hervorgerufen wird. Jede der oben genannten farbigen Spektrallinien ist durch die Angabe ihrer Schwingungszahl eindeutig bestimmt oder, was durchaus auf dasselbe hinausläuft, durch die Angabe der jeweiligen Lichtwellenlänge, die bei Rot rund 800 $\mu\mu$, bei Violett rund 400 $\mu\mu$ beträgt.

Beim prismatischen Spektrum folgen die Einzelfarben zwar in der Reihenfolge ihrer Wellenlänge aufeinander, drängen sich aber am roten Ende, das deshalb auch eine größere Helligkeit aufweist, dichter zusammen. Diesen Nachteil vermeidet man beim Beugungsspektrum. Man kann nämlich die geradlinige Lichtausbreitung durch die sog. Beugung stören, indem man den Lichtstrahl auf eine spiegelnde Glasfläche fallen läßt, auf der recht eng neben einander sehr viele gleichlaufende Striche mit dem Diamanten eingeritzt sind (Anmerkung 15). Das durch ein solches „Beugungsgitter“ gespiegelte Licht liefert auf einem Schirm ein Spektrum, das die Farben des prismatischen Spektrums — aber ohne die Zusammendrängung am roten Ende — zeigt; gleichen Abständen in den Wellenlängen entsprechen nämlich hier gleiche Abstände der betreffenden Farben. Da man bis zu 17 000 Striche auf

den Zentimeter einritzen kann, läßt sich der Strichabstand, die sog. Gitterkonstante, sehr klein machen (bis zu $600 \mu\mu$). Wellenlängen, die kleiner als die Gitterkonstante sind, lassen sich mit solchen Gittern sehr einfach messen, bei sehr kleinen Wellenlängen aber, wie sie uns noch beschäftigen werden, versagt das Verfahren aus praktischen Gründen.

Unter geeigneten Versuchsbedingungen kann man ein Spektrum über den sichtbaren Bereich hinaus erforschen, über die Schwingungszahlen des Violett in das Ultraviolett (d. h. Überviolett) und unter die Schwingungszahlen des Rot in das Infrarot (d. h. Unterrot)*. Wir kennen heute etwa 12 Spektraloktaven, 9 entfallen auf das Infrarot, 2 auf das Ultraviolett und nur eine auf das sichtbare Spektrum (Rot-Violett).

Das Atomspektrum. Bunsen und Kirchhoff waren die ersten (1859), denen die Entzifferung der Rätselschrift des Spektrums gelang. Beim Einbringen irgendeines Metallsalzes in die Flamme des Bunsenbrenners sahen sie im Spektralapparat stets die allein von dem Metall bedingte Linienverteilung, also z. B. stets das Natriumspektrum, wenn ein Natriumsalz in der Flamme verdampfte, mochte es sich nun um Kochsalz (NaCl), Soda (Na_2CO_3), Glaubersalz (Na_2SO_4), Chilesalpeter (NaNO_3) oder um irgendeine andere Natriumverbindung handeln. Nicht das Molekül der betreffenden Verbindung, sondern das allen genannten Molekülen gemeinsame Natriumatom bedingt also die Spektrallinien, offenbar deshalb, weil das Molekül im glühenden Dampfzustand nicht bestehen kann, sondern zerfallen ist. Diese Vermutung ließ sich bestätigen, als es gelang den Molekülzerfall künstlich zu verringern, was man z. B. durch Erniedrigung der Flammwärme erreicht.

* Die oft gebräuchliche Bezeichnung Ultrarot statt Infrarot ist sprachlich weniger genau.

Die Abhängigkeit der Linien vom Atom müßte sich auch darin zeigen, daß erstens jedem Element bestimmte Linien zukommen, daß zweitens ähnliche Elemente ähnliche Spektren liefern und daß endlich Beziehungen zum Atomgewicht vorhanden sind. Das Zutreffen der ersten Folgerung braucht uns an dieser Stelle nur wenig zu beschäftigen; in ihm liegt die Grundbedingung der durch Bunsen und Kirchhoff geschaffenen Spektralanalyse, die eine fabelhafte Erweiterung unserer Sinne gebracht hat, da sie Stoffmengen verrät, die sich sonst jeder Messung entziehen. Die ihr zu dankende Entdeckung verschiedener unbekannter Elemente spricht ebenfalls für das Zutreffen der ersten Folgerung.

Daß chemisch ähnliche Elemente auch Spektralähnlichkeiten zeigen, erkannte G. Ciamician (1877), wobei er auch gewisse Regelmäßigkeiten in der Linienverteilung beim Einzelspektrum eines Elements bemerkte. Für die dritte Folgerung spricht die durch Lecoq de Boisbaudran gemachte Entdeckung, daß sich in den Spektren der Alkali- und der Erdalkalimetalle ähnliche Linien finden, welche sich mit zunehmendem Atomgewicht nach dem Rot hin verschieben. Ja er konnte sogar später aus der Lage von solchen entsprechenden Linien für das von ihm entdeckte Gallium und für das Germanium die Atomgewichte mit einer Genauigkeit berechnen, die erstaunen läßt.

Der Lichtakkord des Atoms. In den letzten 50 Jahren hat die Untersuchung des Spektrums eine ungeheure Fülle von Einzelheiten gebracht, aus denen man den Schlüssel zu dem Rätselbau des Atoms und der Atomzustände hat schmieden können. Wie dies möglich geworden ist, wird nach einem Vergleich aus der Welt der Töne unschwer zu verstehen sein. Ein und derselbe Ton, etwa das Normal-a (der Kammerton mit 435 sekundlichen Schwingungen) besitzt ganz verschiedene Klangfarbe, wenn man ihn mit verschiedenen Musikinstrumenten, etwa Trompete, Violine, Klarinette usw.,

erzeugt. Nach Helmholtz sind in jedem Falle dem eigentlichen Grundton noch andere Töne beigemischt, welche die 2, 3, 4, 5 . . . fache Schwingungszahl des Grundtons haben. Diese sog. Obertöne erzeugen durch ihren Akkord, da sie bei jedem Instrument in anderer Auswahl auftreten, die jeweilige Klangfarbe. In ähnlicher Weise ist das Linienspektrum eines Elements ein Lichtakkord, dessen einzelne Lichttöne durch ein Prisma oder Beugungsgitter als farbige Linien feststellbar sind. Schon Newton hatte beim ununterbrochenen Spektrum des weißen Lichts Beziehungen zu den Tönen gesucht. An seine diesbezüglichen, übrigens verfehlten Überlegungen sind wir noch heute geschichtlich gebunden, wenn wir im Spektrum gerade sieben Hauptfarben unterscheiden (Anm. 16).

Man konnte vermuten, die Einzelfarbtöne eines Linienspektrums seien einer Obertonreihe zu vergleichen und demnach auf einfachste Weise aus einem Grund(farben)ton abzuleiten. A. Schuster fand diese Vermutung aber keineswegs bestätigt. Dagegen konnte der Basler Gymnasialprofessor J. J. Balmer (1885) rein erfahrungsmäßig eine ziemlich einfache Formel aufstellen, welche die Lage von 19 Wasserstofflinien angab und ihm sogar erlaubte, Linien im Ultraviolett zu errechnen, die damals noch gar nicht bekannt waren und erst später (1886) durch A. Cornu an der Stelle entdeckt wurden, wo sie nach der Formel auftreten müssen. Auch die im Infrarot liegenden Wasserstofflinien entsprechen durchaus der Formel, die wir wegen ihrer verblüffenden Einfachheit, die auf einfachen Atombau deutet, mitteilen müssen.

Setzt man in dem Ausdruck $\nu = \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{m^2} \right) \cdot 3291$ Billionen für a die Zahl 1 und läßt m die Reihe der ganzen Zahlen 2, 3, 4, 5 bis Unendlich (∞) durchlaufen, so erhält man die Schwingungszahlen der Wasserstofflinien im Ultraviolett. Für die Laufzahl $m = 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad \dots \quad \infty$ erhält man in Billionen $\nu = 2468 \quad 2925 \quad 3085 \quad 3159 \quad 3200 \quad \dots \quad 3291$.

Wenn man aber in der gleichen Formel für a die Zahl 2 setzt und m die Reihe der ganzen Zahlen 3, 4, 5, 6 ∞ durchlaufen läßt, erhält man die Schwingungszahlen der Wasserstofflinien im sichtbaren Spektrum.

Für die Laufzahl m erhält man in Billionen ν

3	457
4	617
5	691
6	731
7	755
8	771
9	782
10	790
11	796
12	800
13	803
14	806
15	808
16	810
..	...
..	...
∞	823

Wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes sind in Abbildung 6 die soeben aufgeführten Wertepaare durch Strecken veranschaulicht. Zu jedem auf der unteren Wagrechten festgelegten Wert der Laufzahl m ist die daraus errechnete Schwingungszahl ν senkrecht nach oben abgetragen. Die so erhaltenen, mit kleinen Kreisen bezeichneten Punkte sind durch Strecken verbunden, die eine zunächst rasch ansteigende, dann aber immer flacher verlaufende Kurve bilden. Jede errechnete Schwingungszahl ist durch eine gestrichelte Wagrechte von dem kleinen Kreis aus nach links hinüber zwischen zwei senkrechte Gerade übertragen und bestimmt dort eine Wasserstofflinie, deren

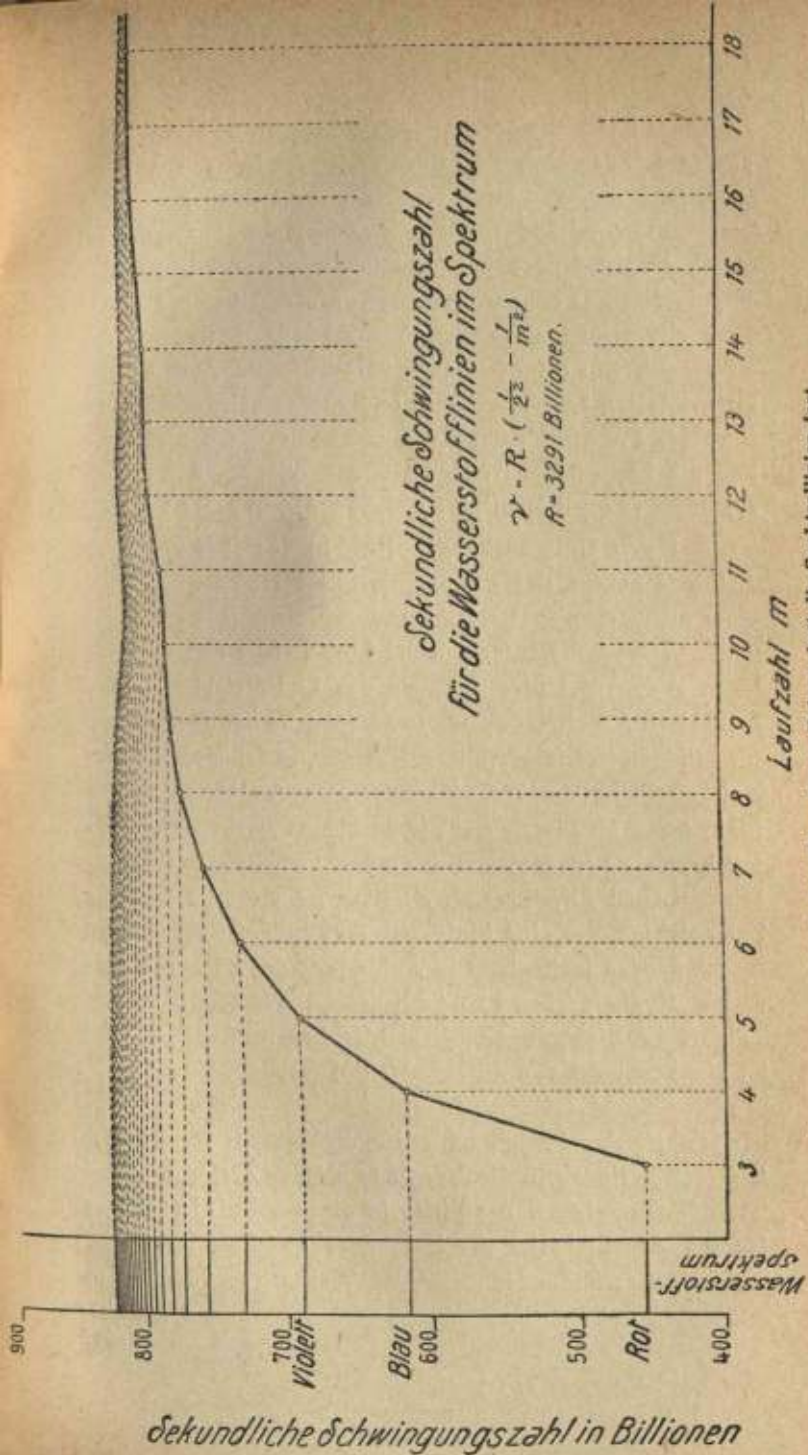


Abb. 6. Die Formel von Balmer legt die Spektrallinien fest.

Farbe aus der Beischrift zu ersehen ist. Im äußersten Violett drängen sich die Linien wegen der immer schwächer ansteigenden Kurve mehr und mehr zusammen; die oberste Wagrechte (und äußerste Spektrallinie) gibt die Grenze an, bis zu der die Kurve bei unendlich wachsender Laufzahl m emporsteigt. Diesen Grenzwert von ν erhält man, wenn m über alle Grenzen hinaus ($m = \infty$) wächst, wodurch der zweite Posten in der Klammer verschwindet. Auch bei den ultravioletten Linien gilt dies und ebenso bei denjenigen im Infrarot. Für diese setzt man $a = 3$ und $m = 4, 5, 6 \dots \infty$. Für die Laufzahl $m = 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \dots \infty$ erhält man in Billionen $\nu = 160 \quad 234 \quad 274 \quad 299 \quad 314 \dots 366$.

Bei den Untersuchungen (1890 ff) von H. Kayser und J. Runge erwies sich die Balmersche Formel als Sonderfall einer allgemeineren Beziehung, durch die man in ganz ähnlicher Weise mit Laufzahlen die Linien vieler Elemente festlegen kann. Bei diesen wegen des Linienreichtums höchst mühsamen Arbeiten gelang die Errechnung der Spektrallinien für Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium, Magnesium, Kalzium, Strontium, Zink, Kadmium, Quecksilber, Aluminium, Indium und Thallium. Bei diesen höchst merkwürdig gebauten Formeln begegnet man nach den Forschungen (1889) des schwedischen Physikers J. R. Rydberg stets dem gleichen Zahlenfaktor, der eine Linie von 3291 Billionen sekundlicher Schwingungen festlegt. Die Auffindung des Zusammenhangs dieser „Rydbergschen Zahl“ mit den Grundgrößen, die in der Theorie der Elektronen und Quanten beherrschend auftreten, ist ein Verdienst von A. Haas (1910).

Elektrische Entladungen in verdünnten Gasen. Das tiefere Eindringen in die Vorgänge bei der Zerlegung stromleitender Flüssigkeiten gipfelte in einer atomistischen Auffassung der Elektrizität. Der endgültige Umschwung der früheren Anschauungen über das Wesen von Materie und

Elektrizität wurde aber erst eingeleitet, als die Forschung begann, sich nach Schaffung guter Influenzmaschinen und Funkeninduktoren mit dem Durchgang der Elektrizität durch verdünnte Gase zu befassen. Gase sind im allgemeinen Nichtleiter der Elektrizität, verlieren aber diese Eigenschaft, wenn man sie durch Auspumpen des Behälters stark verdünnt. Beim allmählichen Herausschaffen der Luft aus einer Glasröhre, in die zwei Elektrodendrähte zum Anlegen

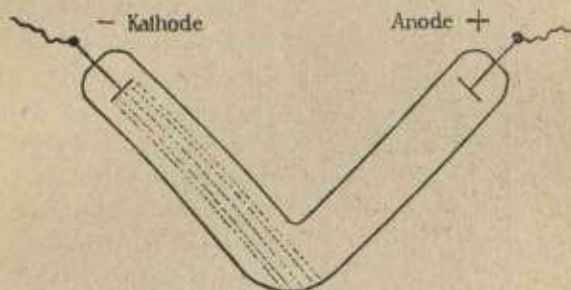


Abb. 7. Mit der Winkelröhre beweist man die geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen.

an einen Funkeninduktor oder eine Influenzmaschine eingeschmolzen sind, wird der Elektrizität der Durchgang möglich. Dabei treten hübsche Leuchterscheinungen auf, die sich mit zunehmender Verdünnung ändern. Die nach Geißler benannten Entladungsröhren (1858), in denen die Verdünnung (das Vakuum) noch gering ist, sah man lange Zeit mehr als Spielerei denn als Forschungswerkzeug an. Bei sorgfältiger Prüfung des Einflusses der Gasdichte zeigten sich aber höchst beachtenswerte Erscheinungen, vornehmlich am negativen Pol, den man auch hier wie bei der Elektrolyse als Kathode bezeichnet. Wenn die Röhre etwa nur noch den hunderttausendsten Teil ihres Luftinhaltes birgt, gehen von der Kathode Strahlen aus, welche das Glas der Röhre überall, wo sie es treffen, grün aufleuchten lassen; dabei ist es ganz gleichgültig, an welcher Stelle der Röhre die Anode

eingeschmolzen ist. In einer Winkelröhre (Abb. 7) gehen die Strahlen, wie gezeichnet, senkrecht und geradlinig von der Kathode aus und erregen das grünliche Aufleuchten (Fluoreszieren) der gegenüberliegenden Glaswandstelle, wo

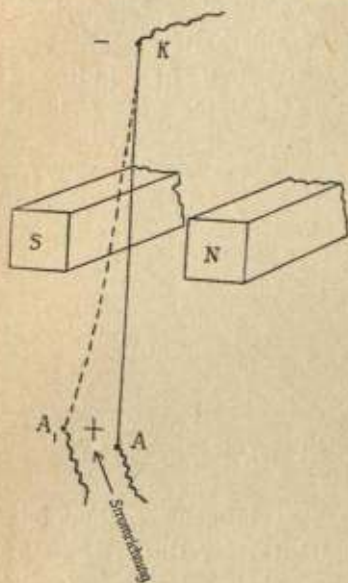


Abb. 8. Ein stromdurchflossener Draht wird in einem Magnetfeld abgelenkt.

auch die Anode (die in der Abbildung rechts oben angenommen ist) liegen mag. Die elektrische Entladung nimmt zwar den winkligen Weg, die Kathodenstrahlen folgen aber der Röhrenbiegung nicht. Von einem in den Weg der Kathodenstrahlung gebrachten Metallstück entsteht auf der leuchtenden Glasfläche ein scharfes Schattenbild. Dies spricht genau so für die Geradlinigkeit der Strahlen, wie der Umstand, daß sich diese durch eine hohlspiegelartige Kathode in einem Punkte sammeln lassen; dabei bringen sie ein an dieser Stelle befestigtes dünnes Platinblech in kräftige Weißglut.

Ein von Crookes (1876) angegebener Versuch zeigt mechanische Wirkungen der Kathodenstrahlen. Ein sehr leichtes Schaufelrad aus Glimmerblättchen, das auf zwei Glasschienen in der Röhre rollen kann, bewegt sich nämlich unter dem Einfluß der Kathodenstrahlung von der Kathode fort. Man denkt unwillkürlich an Teilchen, die von dieser weggeschleudert werden, steht dann aber vor der Frage nach ihrer Natur. Als Hittorf sich eingehender mit der Untersuchung der von seinem Lehrer Plücker im Jahre 1859

entdeckten Kathodenstrahlen beschäftigte (1869), äußerte er: „Täusche ich mich nicht, so sind diese Verhältnisse (an der Kathode) äußerst günstig, um uns Schlüsse auf den Vorgang des elektrischen Stroms selbst zu gestatten: es ist nicht unmöglich, daß die Gase auf unserem Gebiete, wie in der Lehre von der Wärme, am leichtesten das Wesen der Erscheinung erkennen lassen und die moderne Physik von ihren letzten Imponderabilien, den elektrischen, befreien.“ In gewissem Sinne hat Hittorf Recht behalten und hätte vielleicht selbst das Ziel erreicht, wenn man seinen Arbeiten dieselbe Beachtung geschenkt hätte, wie denen des Engländers W. Crookes, der bei seinen Arbeiten über die Kathodenstrahlen (1876) an die Entdeckung einer vierten Formart dachte und von „strahlender Materie“ sprach. Damit glaubte

er „das Grenzland erreicht zu haben, wo Materie und Kraft ineinanderfließen“. Ein Vierteljahrhundert später konnte man sich in diesem Grenzland, das vielen ernsten Forschern nur im Märchenreich zu liegen schien, bereits recht gut aus.

Die Natur der Kathodenstrahlen. Mit der Annahme, die Kathode schleudere Teilchen von vorläufig noch unbekannter Natur geradlinig aus, läßt sich die Bewegung des Glimmerrädchens ebenso einfach erklären, wie das Erglühen des Blechs durch die gesammelten Strahlen, die dabei gleichsam ein Trommelfeuer auf dieselbe Stelle niedergehen

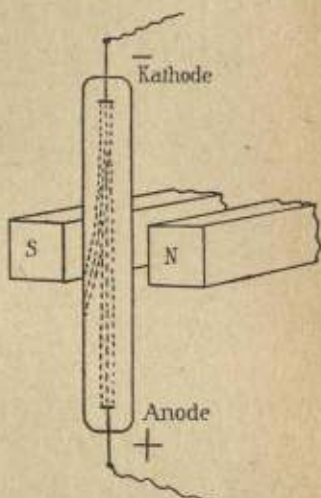


Abb. 9. Ein Kathodenstrahlenbündel wird in einem Magnetfeld abgelenkt.

lassen. Beim Annähern eines Magneten an eine Vakuumröhre zeigt sich eine Ablenkung, genauer eine Krümmung des Kathodenstrahlenbündels. Wenn man (Abb. 8) durch einen weichen Draht, der bei K zwischen den Polen eines Elektromagneten aufgehängt ist, einen Strom in der Pfeilrichtung sendet, krümmt sich der Draht bei Erregung des Elektromagneten in die Stellung KA_1 . Genau im selben Sinn

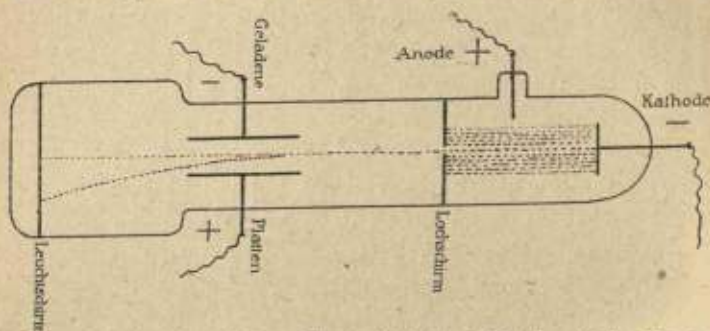


Abb. 10. In der Braun'schen Röhre wird das Kathodenstrahlenbündel von der positiven Platte angezogen und von der negativen abgestoßen.

krümmt sich ein Kathodenstrahlenbündel, wie Abb. 9 zeigt, wenn die Stromrichtung der des vorigen Versuchs entspricht. Die positive Elektrizität geht noch den nämlichen Weg wie vorher, die negative aber den krummen Weg. Die Kathodenstrahlen erscheinen somit als Träger negativer Elektrizität.

Mit der von Braun angegebenen Röhre (Abb. 10) lassen sich die Kathodenstrahlen auch „elektrostatisch“ ablenken. Durch ein Loch in einem Metallschirm tritt ein sehr dünnes Kathodenstrahlenbündel zwischen zwei Platten hindurch, die entgegengesetzt geladen werden können, und erzeugt auf einem Leuchtschirm einen hellen Fleck. Dieser wandert etwas nach unten, wenn die Platten die in der Abbildung angegebene Ladung erhalten. Die Abstoßung von der negativen Platte (bezw. Anziehung durch die positive) spricht ebenfalls für die negative Ladung der Kathodenstrahlen.

Diese wichtige Folgerung wird noch durch den „Käfigversuch“ erhärtet. In einer Vakuumröhre (Abb. 11) befindet sich ein Metallkäfig, der mit einem Elektroskop E in Verbindung steht und zur Vermeidung störender Einflüsse noch von einem zweiten, nach der Erde abgeleiteten Metallkäfig umhüllt ist. Beide Käfige besitzen kleine Öffnungen a und b, die mit einem kleinen Loche c in der Anode auf einer Geraden liegen.

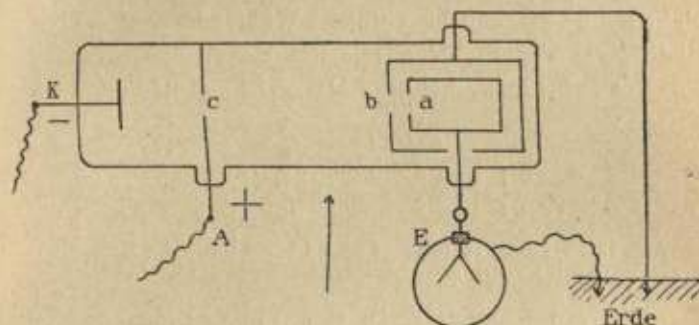


Abb. 11. Die negative Ladung der Kathodenstrahlen kann man mit der Käfigröhre an einem Elektroskop nachweisen.

Strahlen, welche von der Kathode aus durch c, b, a den inneren Käfig erreichen, laden diesen, wie man am Elektroskop erkennen kann, negativ. Der Erfolg bleibt aber völlig aus, wenn man die Strahlen vor den Käfigen durch einen Magneten ablenkt und nicht durch b und a eintreten läßt.

Durch Messung der magnetischen und elektrostatischen Ablenkung (nach Abb. 9 und 10) kann man zahlenmäßig die Geschwindigkeit der in den Kathodenstrahlen fliegenden Teilchen und die von ihnen mitgeführte Ladungsmenge bestimmen. Hier Geschwindigkeiten anzutreffen, die je nach dem Verdünnungsgrad 60 000—100 000 Sekundenkilometer betragen, also etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der Lichtgeschwindigkeit ausmachen, ist an sich schon recht erstaunlich. Es zeigt sich aber noch mehr. Die Ladungsmenge ist nämlich weder vom Verdünnungsgrade noch von der Natur des Gases in der

Röhre abhängig. Es kann sich also auf keinen Fall um geladene Moleküle oder Atome handeln! Als Masse eines negativ geladenen Einzelteilchens findet man den 1835sten Teil der Masse eines Wasserstoffatoms (dem man doch bisher die kleinste Masse zuschrieb!) und für die Elektrizitätsmenge, die das Einzelteilchen trägt, erhält man den Betrag, der uns schon vom Elektrizitätsatom her bekannt ist, das elektrische Elementarquantum. Während aber bei der Elektrolyse das Elektron nur mit einem Atom vergesellschaftet auftritt, erscheint es hier ganz selbständig, an kei-



Abb. 12. Bei der Fensterröhre nach Lenard treten die Kathodenstrahlen durch ein Aluminiumfenster in die Luft aus.

nerlei Materie gebunden, als freies Elektrizitätsatom. Kathodenstrahlen erscheinen somit als Ströme negativer Elektronen, deren „Flugrichtung“ entgegengesetzt zu der früher festgelegten „Stromrichtung“ ist.

Aus einer gewöhnlichen Vakuumröhre können die Kathodenstrahlen nicht in die freie Luft übertreten, sie werden offensichtlich durch die Glaswand aufgehalten. Dadurch erscheint es zunächst unmöglich, die Kathodenstrahlen oder, wie wir jetzt auch sagen dürfen, die negativen Elektronen in der freien Luft unter gewöhnlichem Druck zu untersuchen, ja es sieht geradezu so aus, als seien die Elektronen nur im Vakuum möglich. Das ist aber nicht richtig. Schon Heinrich Hertz hatte (1892) die Durchlässigkeit dünner Metallbleche für Kathodenstrahlen entdeckt. Sein Schüler Lenard nützte dies aus, gab der Entladungsröhre (Abb. 12) gegenüber von der Kathode ein luftdicht aufsitzendes Aluminiumfenster (Dezember 1893) und konnte durch dieses die Kathodenstrahlen nach der freien Luft übertreten lassen, wo

sie z. B. eine photographische Platte — sogar durch ihre Papierumhüllung hindurch — schwärzten.

Kanalstrahlen. Von einer mit Löchern („Kanälen“) versehenen Kathode einer Vakuumröhre (Abb. 13) gehen in den von der Anode abgewandten Raum Strahlen aus, denen ihr Entdecker Goldstein den Namen Kanalstrahlen gegeben hat. Nach W. Wien (1898) führen sie positive elektrische Ladungen und sind durch den Magneten wie „Ströme“ ablenkbar. Die Meinung, der „Kanal“ in der Kathode habe

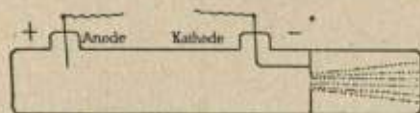


Abb. 13. Die Kanalstrahlen gehen von der Kathode aus in den von der Anode abgewandten Raum.

einen Einfluß auf Entstehung und Gestalt dieser Strahlen, hat sich als irrig erwiesen, sie sind vielmehr auch stets vor der Kathode, d. h. anodenwärts vorhanden, lassen sich aber, wenn sie die durchlöchernte Kathode durchsetzt haben, besser untersuchen, weil dann die Störung durch die zwischen Anode und Kathode stattfindende Entladung wegfällt. Bei den Kanalstrahlen handelt es sich keineswegs, wie man erwarten könnte, um freie positive Elektronen, sondern immer nur um positiv geladene Atome (positive Ionen) des die Röhre anfüllenden verdünnten Gases, wie man aus der Größe der magnetischen und elektrostatischen Ablenkung der Strahlen unzweideutig ersieht.

Röntgenstrahlen. Das von Lenard entdeckte Durchdringungsvermögen von Kathodenstrahlen wurde weiteren Kreisen bekannt, als Röntgen im Winter 1895 eine ähnliche Eigenschaft an den Strahlen auffand, die von dem Glase der Entladungsröhre ausgehen, das unter dem Einfluß der Ka-

thodenstrahlen grün aufleuchtet (Anm. 17). Wenn man im Röhreninnern (Abb. 14) ein Metallblech, die sog. Antikathode, in den Weg der Kathodenstrahlen stellt, wird die Wirkung

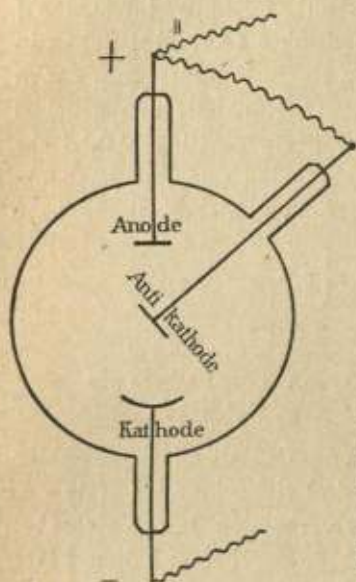


Abb. 14. Die von der Hohlspiegelkathode ausgehenden Strahlen werden bei der Röntgenröhre auf der Antikathode gesammelt und liefern die Röntgenstrahlen.

gesteigert und man erhält „Röntgenstrahlen“ von außerordentlichem Durchdringungsvermögen, welche auf einem geeigneten Leuchtschirm (Anmerkung 18) oder einer photographischen Platte die bekannten Schattenbilder durchstrahlter Gegenstände liefern und der ärztlichen Kunst wichtige Hilfe bieten. Elektrische und magnetische Kräfte vermögen die Röntgenstrahlen nicht abzulenken, was auf einen wesentlichen Unterschied gegenüber Kathoden- und Kanalstrahlen hindeutet. Da auch beim gewöhnlichen Licht solche Ablenkungen fehlen, sprach man die Röntgenstrahlen zunächst da und dort als gewöhnliches Licht von besonders geringer

Wellenlänge an; da aber Versuche mit Beugungsgittern keinerlei Ergebnis lieferten, stand die Entscheidung über die wahre Natur der geheimnisvollen Strahlen vorerst aus.

Änderungen in dem an sich schon sehr geringen Gasgehalt der Röhre und in der verwendeten elektrischen Betriebsspannung liefern eine schon von Röntgen bemerkte Verschiedenheit im Durchdringungsvermögen der Strahlen. Ist dieses groß, spricht man von „harten“, andernfalls von „weichen“ Röntgenstrahlen. Die von der Antikathode aus-

gehende Röntgenstrahlung ist nach den Untersuchungen (1908) von Barkla durchaus nicht einheitlich. Einmal handelt es sich um die von der stofflichen Natur (also dem Atom) der Antikathode abhängige „charakteristische oder wesentliche Strahlung“, die uns noch beschäftigen wird, dann aber noch um die „Bremsstrahlung“, die diesen Namen führt, weil sie durch plötzliches Bremsen der auf die Antikathode aufprallenden Elektronen (der Kathodenstrahlen) entsteht.

Ionisierung der Luft. Da Gase im allgemeinen vorzügliche Nichtleiter sind, behält ein gut isoliertes Elektroskop seine Ladung lange bei. Befindet es sich aber in ziemlichem Abstand von einer Röntgenröhre und ist genügender Schutz gegen ihre Betriebsspannung vorhanden, so entlädt es sich vollkommen, wenn es von den Röntgenstrahlen getroffen wird. Es haben sich Gasionen gebildet, welche die Luft leitend machen. Von den Unterschieden gegenüber der Ionenbildung bei Flüssigkeiten ist der eine wohl zu beachten: Ein Elektrolyt bleibt auch nach Stromausschaltung zersetzt, die Gasionen aber sind nach Aufhören der Strahlung sofort wieder verschwunden, d. h. das Gas (die Luft) ist sofort wieder ein Nichtleiter. Die Gasteilchen werden durch die Strahlen in Ionen zerschmettert, die sich sofort wieder zu unelektrischen Teilen vereinigen, wenn die Strahlung aufhört. Die Ionisierung von Gasen spielt bei der noch zu behandelnden Radioaktivität eine Hauptrolle, wir erwähnen deshalb noch ihre Bedeutung für gewisse Nebelbildungsversuche. In einer Flasche, die wenig Wasser birgt, befindet sich nach einiger Zeit gesättigter Wasserdampf, der unsichtbar wie die Luft ist. Bei Abkühlung bildet der nun übersättigte Wasserdampf eine Nebelwolke, wenn die Luft in der Flasche feine Staubteilchen enthält, die als „Verdichtungskerne“ die Entstehung kleinster Wassertröpfchen ermöglichen. Bei völlig staubfrei gemachter Luft bleibt die Nebelbildung bei Abküh-

lung aus, tritt aber sofort auf, wenn man durch ein geeignetes Fenster der Flaschenwand ultraviolettes Licht, Kathoden- oder Röntgenstrahlen in die „Nebelkammer“ eintreten läßt. Die entstehenden Gasionen bilden jetzt die Verdichtungskerne.

Das Radium. Nach Röntgens Entdeckung im Winter 1895 suchte man die Ursache der geheimnisvollen Strahlen in dem grünlich aufleuchtenden Glas der Röhre. Beim Verfolgen dieser Meinung, die sich übrigens als irrig herausstellte, bemerkte H. Becquerel im Februar 1896, daß die Verbindungen des Urans, wie das Element selbst, dauernd eine sogar durch Papier hindurchwirkende Strahlung ausstrahlen, welche die photographische Platte schwärzt und ein in der Nähe befindliches Elektroskop entlädt. Die Uranpechblende aus Joachimstal erwies sich stärker strahlungsspendend („radioaktiv“), als man ihrem Urangehalt nach vermuten konnte. Zur Ergründung der Ursache verarbeitete Frau Curie gemeinsam mit ihrem Gatten Jacques Curie 1000 Kilogramm Rückstände des Minerals und konnte mehrere strahlende Elemente gewinnen. In einer Menge von nur 0,35 Milligramm (also etwa ein dreißigmillionstel Prozent der Ausgangsmenge) wurde ein außerordentlich strahlungsfähiger Stoff abgeschieden, der den Namen Radium (d. h. Strahler) erhielt. Das Spektrum sprach für die elementare Natur des Radiums, dem etwa das millionfache Strahlungsvermögen von Uran zukommt. Wegen der Veränderlichkeit des metallischen Radiums an Luft benutzt man statt seiner lieber das Bromradium, Chlorradium usw.

Die Strahlen des Radiums. Die vom Radium ausgesandten Strahlen lassen sich durch Einwirkung eines kräftigen Magneten in drei Gruppen trennen, die man mit den griechischen Buchstaben Alpha (α), Beta (β) und Gamma (γ)

unterscheidet (Abb. 15 und Anm. 19). Die Erforschung dieser Strahlen, die derjenigen der Kathodenstrahlen usw. im wesentlichen entspricht, hat höchst eigenartige Ergebnisse zutage gefördert, aus denen wir nur die für unsere Zwecke wichtigsten herausgreifen wollen. Die Alphastrahlen bestehen, wie W. Ramsay (1903) als erster ermittelte, aus positiv geladenen Heliumatomen und haben nur eine geringe Reichweite; schon Papier hält sie auf, ein 0,01 mm dickes Aluminiumblättchen vermögen sie nicht mehr zu durchdringen. Die Betastrahlen bestehen aus freien negativen Elektronen, sind also den uns schon bekannten Kathodenstrahlen ähnlich, übertreffen sie aber durch ihre größere Geschwindigkeit, die sich der des Lichtes stark nähert. Ein Aluminiumblech von 0,5 mm Dicke verschluckt bereits die Hälfte der Strahlung („Halbwertsdicke“). Die Gammastrahlen endlich, denen das Radium seine medizinische Anwendung verdankt, bieten als Röntgenstrahlen nicht viel Neues.

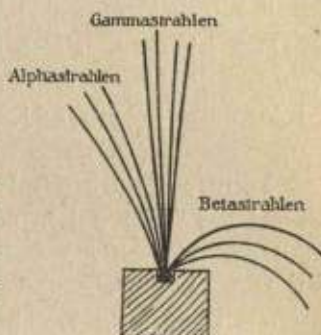


Abb. 15. In einem Magnetfeld werden die vom Radium ausgehenden Strahlen in drei Gruppen zerlegt.

Wie Elster und Geitel als erste bemerkt haben, bringt ein strahlender Stoff (nicht nur das Radium!) auf einem in die Nähe gebrachten Schirme von Sidotblende, Zinksulfid usw. ein wogendes Aufleuchten kleinster Lichtpunkte hervor. Mit der Lupe sieht man deutlich einen glitzernden, flimmernden Sternhimmel oder Sternhaufen, in dem ohne Unterlaß Sterne auftauchen und rasch verschwinden (Spinthariskop nach Crookes). Die Ursache liegt im Aufprallen von Alphastrahlen, deren Untersuchung die wichtigsten Beiträge zu unserem Fragengebiet geliefert hat. Um die Bahnen

von Alphateilchen sichtbar zu machen und zu photographieren, verwertete C. T. R. Wilson die früher erwähnte Nebelkernbildung durch Ionen, indem er einen Draht mit einer Spur Radium in eine Nebelkammer einführte. Die Strahlenbahnen wurden dann durch Nebelstreifen sichtbar und ließen deutlich die schon erwähnte begrenzte Reichweite der Alphastrahlen erkennen, zeigten gelegentlich aber auch eine dicht vor dem Strahlende auftretende Bahnabknickung, die zunächst unerklärlich erschien.

Positive Elektrizitätsatome. Das negative Elektron begegnet uns völlig frei in den Kathoden- und in den Betastrahlen, die positiven Ladungen dagegen finden wir stets mit Materie, mit (chemischen) Atomen vergesellschaftet und niemals völlig frei. Durch die Entladung in der Vakuumröhre zerreißen wir die Atome der Materie in freie negative Elektronen und in positiv geladene Atomreste, die ihre Ladung offenbar nur dem Verluste negativer Elektronen verdanken. Wir müssen uns darum vorstellen, daß ein Atom so lange unelektrisch (neutral) ist, als es die ihm zugehörige Zahl negativer Elektronen an sich gekettet hält. Die unitarische Theorie von Franklin kommt dadurch in gewissem Sinne wieder zu ihrem Rechte, doch zeigt sich deutlich die Umgestaltung durch die neuen Ergebnisse und Anschauungen.

Die Scheinmasse des Elektrons. Wenn man die Stärke des Stromes in einer Drahtspule ändert, entsteht in dieser der sog. Extrastrom, der stets der Änderung des Hauptstromes entgegenwirkt. Der Vergleich mit dem Beharrungswiderstand bei Geschwindigkeitsänderungen drängte sich bereits Faraday auf, der (1835) die Extraströme entdeckt hatte. Da nun der Strom eine Elektronenbewegung ist, besagt die erwähnte Erscheinung: Das Elektron besitzt schon durch seine Ladung eine träge Masse.

Der Versuch, durch Bewegung einer elektrischen Ladung ein Magnetfeld zu erzeugen, glückte Faraday noch nicht, wohl aber dem Amerikaner Rowland (1876), dem die Ablenkung einer Magnetnadel durch rasche Drehung einer geladenen Scheibe gelang, während die ruhende Ladung kein Magnetfeld lieferte.

Teilt man einem Körper eine elektrische Ladung mit, so wird er nicht schwerer, wohl aber erfährt er, wie J. J. Thomson als erster (1881) bemerkt hat, eine Vergrößerung seines Beharrungswiderstandes, d. h. die Ladung täuscht eine Masse vor, sie besitzt „scheinbare Masse“. Der Energieaufwand für das Inbewegungsetzen der elektrischen Ladung erzeugt die Energie des auftretenden Magnetfeldes. Mit Rücksicht auf die Wirkung spricht man hier von „elektromagnetischer Masse“.

Wir müssen uns jetzt dessen erinnern, was wir von der Veränderlichkeit der Masse im Sinne der neueren, relativistischen Physik erfahren haben, und wenden es auf die Elektronenmasse an, die als durchaus veränderlich erscheint. Wir denken dabei vornehmlich an die Elektronenströme der außerordentlich schnellen Betastrahlen. Hier hat W. Kaufmann (1901 f.) durch sorgfältige Messungen eine Massenzunahme der Elektronen bei wachsender Geschwindigkeit feststellen können. Das aber ist besonders wichtig: Das an sich massenlose Elektron (auch an keinerlei Materie gebunden) spiegelt uns lediglich durch die Geschwindigkeit, die ihm erteilt ist, eine Masse vor. Man sagt auch: das Elektron hat nur scheinbare Masse. Nun gibt man aber doch eine „Masse des Elektrons“ an — auch wir taten dies! Gewiß, aber dabei ist ein Vorbehalt, der freilich schon zahllose Mißverständnisse (selbst bei den Fachleuten!) hervorgerufen hat. Spricht man nämlich von der Masse eines Elektrons (oft wird sie zu allem Unglück auch noch „Ruh-Masse“ getauft), so nimmt man für dieses eine Geschwindigkeit an, die gegenüber der-

jenigen des Lichts nur klein ist, etwa wie bei den langsameren Kathodenstrahlen.

Der Zerfall des Radiumatoms. Wir stehen vor einer der folgenschwersten Entdeckungen, die zunächst maßlosem Erstaunen und berechtigten Zweifeln begegnete, handelt es sich doch um die Vernichtung des Glaubens an die Unwandelbarkeit der Elemente, an die Unveränderlichkeit und Unteilbarkeit der Atome. Und dies ist es: Das Element Radium sendet in seinen Alphastrahlen dauernd und ohne unser Zutun, ja sogar ohne daß wir den Vorgang beschleunigen, verzögern oder aufhalten können, Atome des Elements Helium aus; dabei verringert sich das Atomgewicht 226 des Radiums um dasjenige des Heliums auf 222. Um welches neue Element handelt es sich?

Die von Frau Curie gemachte Entdeckung, daß alle Stoffe durch die Nähe von Radium selbst auf einige Zeit radioaktiv werden, hat durch Rutherford ihre Erklärung gefunden. Von dem Radium geht nämlich ein radioaktives, elementares Gas aus, das er Emanation (d. h. Ausströmung) nannte. Mit dem Atomgewicht 222 ist es das Ergebnis des geschilderten Zerfalls. Das Element Radium besteht also aus den Elementen Helium und Emanation. Ebenso unbeständig wie das Radium ist aber auch die Emanation, da sie ebenfalls unter Abgabe von Alphastrahlen oder Helium ($AG = 4$) sich in ein neues Element umwandelt, welches das Atomgewicht $222 - 4 = 218$ hat, als Radium A bezeichnet wird und das oben erwähnte Aktivwerden von Körpern in Radiumnähe verursacht. Auch dieses neue Element ist unbeständig und liefert zerfallend das Element Radium B usw. Kurzum: Aus dem Radium entsteht durch Zerfall (von Alphastrahlung begleitet) eine Reihe von Umwandlungselementen, wodurch sich das ursprüngliche Atomgewicht 226 in Stufen von 4 (AG des Heliums) allmählich auf 206 erniedrigt, das dem

Radium G zukommt. Sein Mutterelement ist das Radium F, das Frau Curie schon bei ihrer Radiumentdeckung gefunden und zu Ehren ihrer polnischen Heimat Polonium getauft hat.

Halbwertszeit und Lebensdauer der Atome. Der Atomzerfall vollzieht sich bei den verschiedenen Elementen durchaus nicht in gleichen Zeiträumen. Die Verschiedenheit kommt in der „Halbwertszeit“ zum Ausdruck. Darunter versteht man die durch schwierige Meßverfahren feststellbare Zeitspanne, in welcher sich für ein Element die Zahl der gerade vorhandenen Atome durch Zerfall auf die Hälfte verringert. Für das Radium beträgt diese Halbwertszeit 1750 Jahre, was demnach besagen will, daß nach dieser Zeit von unzerfallenen Radiumatomen noch die Hälfte, nach weiteren 1750 Jahren neuerdings die Hälfte dieser Hälfte, somit ein Viertel, nach weiteren 1750 Jahren nur noch ein Achtel der ursprünglichen Atomzahl unzerfallen vorhanden ist usw. Bei dieser Art allmählicher Abnahme hat es eigentlich keinen Sinn, eine „Lebensdauer“ anzugeben. Auf deren Verschiedenheit bei den einzelnen Stoffen weist zur Genüge die Verschiedenheit der Halbwertszeiten, die übrigens sehr stark ist. Für die Radiumemanation beträgt sie 3,85 Tage. Sonst liegen die Halbwertszeiten zwischen einer fünfhundertstel Sekunde und 5 Milliarden Jahre.

Von jedem Gramm reinen Radiums, das sich in einem Präparat vorfindet, zerfallen in jeder Sekunde 34 Milliarden Radiumatome. Bei dieser ungeheuerlichen Zahl sollte man meinen, von dem Radium sei bald nichts mehr vorhanden. Dem ist aber nicht so! Enthält doch das Gramm Radium etwa 2750 Trillionen Atome. Eine Trillion aber hat eine Milliarde Milliarden!

Die Zerfallsreihen. Wie Emanation, Radium A usw. Abkömmlinge des Radiums sind, entstammt dieses selbst dem

Ionium und dieses wieder dem Uran, das man deshalb scherzweise als „Ur-Ahn“ bezeichnen kann. Man kennt also eine ganze Entwicklungsfolge, die vom Uran bis zum Radium G führt, wobei sich das Atomgewicht von 238 um 32 (= $8 \cdot 4$) bis auf 206 verringert. Neben dieser „Uran-Radium-Reihe“ gibt es auch eine Thoriumreihe, benannt nach dem (1898) durch G. C. Schmidt in Erlangen und Frau Curie in Paris entdeckten radioaktiven Element Thorium. Zu seinen Zerfallsstoffen gehört u. a. das Mesothorium (genauer: Mesothorium I), das für Heilzwecke oft statt Radium verwendet wird, weil es billiger kommt; ist doch die Uranpechblende, der Ausgangsstoff für die Radiumgewinnung, verhältnismäßig schwieriger zu erhalten, wie der Monazit, dem man das Mesothorium entnimmt. Erwähnt sei noch die Actiniumreihe, benannt nach dem radioaktiven Element Actinium, dessen Mutterelement im Jahre 1918 einerseits durch Soddy, andererseits durch Otto Hahn und Lise Meitner entdeckt und Protactinium genannt wurde.

Wir kennen heute (Februar 1923) im ganzen 37 radioaktive Elemente, die sich als Zerfallsstoffe aus dem Uran und dem Thorium als Anfangselementen ableiten lassen, diese an Strahlungskraft recht erheblich übertreffen, aber meist nur in viel kleineren Mengen vorkommen. Das Radium kann man grammweise gewinnen, die anderen Abkömmlinge jedoch teilweise nur in so geringen Spuren, daß man wohl für alle Zeit darauf verzichten muß, sie jemals in verwertbaren Mengen herstellen zu können. Bei vielen gilt dies schon wegen ihrer großen Unbeständigkeit, die sich in den winzigen Halbwertszeiten offenbart.

Isotope Elemente. Die Atomgewichte der 37 heute bekannten radioaktiven Elemente liegen zwischen den Grenzen 206 und 238, innerhalb deren im periodischen System nur 11 Plätze verfügbar sind. Das in die Uranreihe gehörende

Radium G mit dem Atomgewicht 206 sprach man schon länger als gewöhnliches Blei ($AG = 207,2$) an. Dafür zeugten der Umstand, daß alle Uranminerale bleihaltig sind und zwar um so stärker, je höher ihr geologisches Alter ist, und ferner die Tatsache, daß das Radium G das reine Bleispektrum liefert; dagegen sprach der nicht anzuzweifelnde Unterschied in den Atomgewichten. Eine ähnliche Überraschung bot die Reihe des Thoriums, das mit seinem Atomgewicht 232 durch Abspalten von 6 Alphateilchen auf einen Stoff mit dem Atomgewicht 208 (nämlich $232 - 6 \cdot 4$) führt, der sich ebenfalls als Blei ausweist.

Alle drei Bleisorten, das gewöhnliche, das Uran- und das Thorium-Blei, an deren Untersuchung Hönigschmid herangetreten ist, liefern ein reines Bleispektrum, unterscheiden sich chemisch in keinerlei Weise und müssen daher an derselben Stelle im periodischen System eingereiht werden oder, wie man sagt, „isotop“ (d. h. gleichartig) sein. Von anderen noch bekannten isotopen Elementen, die chemisch vollkommen gleich, im Atomgewicht und in der Strahlungsfähigkeit aber verschieden sind, nennen wir vor allem — als Ergebnis der Untersuchungen (1914) von Soddy — das Radium und das Mesothorium.

Die Isotopie erlaubt die Unterbringung aller 37 radioaktiven Elemente auf den elf Plätzen des periodischen Systems vom Uran bis zum Blei. Dadurch drängen sich an einigen Stellen mehrere Elemente zu Gruppen zusammen, welche Fajans als „Plejaden“ bezeichnet, anspielend auf den seit alters bekannten Sternhaufen. Wo früher, als man vom Atomzerfall noch nichts wußte, z. B. allein das Blei stand, findet sich heute eine Plejade von sieben Elementen.

„Elemente“ als Isotopengemische. Würde man zwei Gewichtsteile Uranblei ($AG = 206$) mit drei Gewichtsteilen Thoriumblei ($AG = 208$) zusammenschmelzen, so erhielte

man gewöhnliches Blei ($AG = \frac{2 \cdot 206 + 3 \cdot 208}{5} = 207,2$), das

sich nach keinem bisher in der Chemie üblichen Verfahren trennen ließe. Das heißt aber: Wenn gewöhnliches Blei ein Isotopengemisch (Uranblei:Thoriumblei 2:3) ist, versagen unsere chemischen Trennungsverfahren. Wohl aber kann man, wie es der englische Physiker F. W. Aston, ein Schüler von J. J. Thomson, zuerst erreicht hat, Isotope mit physikalischen Mitteln trennen und zwar, da ihnen verschiedene Atomgewichte zukommen, im elektrischen und magnetischen Felde. Aston hatte mit seiner „Massenspektroskopie“ zunächst Erfolg bei dem Edelgase Neon ($AG = 20,2$), das er als Gemisch von zwei Elementen, dem eigentlichen Neon ($AG = 20$) und dem Metaneon ($AG = 22$) erkannte und zwar mit dem Mischungsverhältnis 9:1. Dann erkannte Aston das Chlor ($AG = 35,46$) als Gemenge von 2 Isotopen ($AG = 35$ und $AG = 37$), deren Mischungsverhältnis etwa 7:2 sein müßte. In den Jahren 1919/20 hat Aston noch einige Elemente als Isotopengemische festgestellt. Beim Quecksilber ($AG = 200,6$) handelt es sich anscheinend um ein Gemenge isotoper Elemente, deren Atomgewichte 197 bis 204 betragen. Das Edelgas Krypton besteht aus sechs Isotopen mit den Atomgewichten 78, 80, 82, 83, 84 und 86.

Für den Nichtfachmann wohl durchsichtiger als Astons Verfahren, das wir hier nicht erörtern wollen, ist ein anderes, das mit der Diffusion der Gase arbeitet und dadurch physikalische Eigenarten der Stoffwelt ausnutzt, die unmittelbar von den Verschiedenheiten in den Atom- oder Molekulargewichten abhängen. Bei zwei durch eine poröse Scheidewand (etwa aus Ton) getrennten Gasen findet infolge der Molekularkräfte eine Bewegung durch die Poren statt. Nach Graham, der (1834—46) diese Erscheinung durchforschte, verhalten sich die Durchdringungsgeschwindigkeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Gasdichten oder

Molekulargewichten. Da Sauerstoff das 16fache Molekulargewicht wie Wasserstoff und die Quadratwurzel aus 16 den Wert 4 hat, durchdringt Wasserstoff die Poren viermal so rasch wie Sauerstoff. Auf Grund dieses Graham'schen Gesetzes kann man aus den leicht zu messenden Geschwindigkeiten die Molekulargewichte von Gasen vergleichen und bestimmen. Bei einem Gemisch isotoper Gase muß der schwerere Bestandteil langsamer wandern, d. h. die isotopen Gase müssen sich durch Diffusion trennen lassen. Unter den gewöhnlichen (d. h. nicht strahlenden) Elementen wurde als erstes nach diesem Verfahren das Chlor geschieden und zwar durch W. D. Harkins und seine Mitarbeiter in den Jahren 1916—20.

Raumgitter der Moleküle. Bei den Röntgenstrahlen waren die Physiker lange im Zweifel, ob es sich hier um eine körperliche oder um eine dem Lichte ähnliche Wellenstrahlung handelte. Man neigte zwar der zweiten Annahme mehr zu, besaß aber keine Mittel zur Entscheidung, da man die früher erwähnten Beugungsgitter aus technischen Gründen nicht in der für sehr kleine Wellenlängen (wie sie die Röntgenstrahlen besitzen könnten) erforderlichen Feinheit herstellen kann. Wohl aber liefert uns, worauf Laue hinwies, die Natur Gitter von außerordentlicher Feinheit, wenn die Anschauung der Mineralogen über den Feinbau der Kristalle, die sog. Raumgitterlehre, zu Recht besteht. Huygens war wohl der erste, der den Bau des Kalkspats und anderer Kristalle durch Raumgitter zu deuten versuchte (1690). An Haüy anknüpfend, der sich die Kristalle aus kleinsten Spaltstücken (*molécules intégrantes*) zusammengesetzt gedacht hatte (1784), entwickelte Bravais (1848 f.) die Anschauung, die Molekülgruppen seien als Bausteine der Kristalle in Raumgittern angeordnet. Die mathematische Behandlung der einfachen und zusammengesetzten Raumgitter gehört zu den

Verdiensten, die sich (1891) A. Schönflies und gleichzeitig auch J. A. Fedorow erwarben. Ein Wort über das Wesen eines Raumgitters scheint vonnöten. Man denke sich einmal einen Kubikmeterwürfel aus seinen tausend Kubikdezimeterwürfeln aufgebaut. Überall, wo im Innern des großen Würfels acht kleine Würfel mit je einer Ecke zusammentreffen, sei ein materieller Punkt. Denkt man sich nun die Würfel fort, so bilden die materiellen Punkte ein Raumgitter. Natürlich kann man auch andere Raumgebilde als gerade diese Würfel zusammenfügen und erhält dann ganz entsprechend andere Formen von Raumgittern.

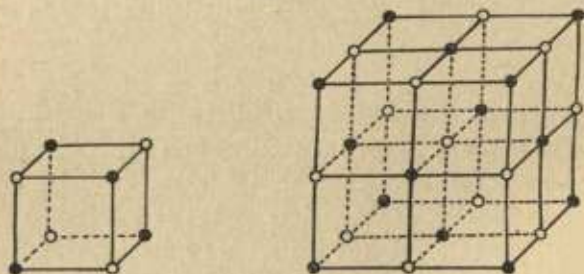


Abb. 16. Die Teilbilder eines Raumgitters von Chlornatrium zeigen die räumliche Anordnung der Atome von Chlor ● und Natrium ○.

Das zuerst beschriebene Raumgitter gehört dem Chlornatrium oder Kochsalz an. Die Meinung, in den Gitterpunkten seien die Chlornatriummoleküle anzunehmen, hat sich nicht bestätigen lassen. Erscheinungen aus dem Gebiet der Wärmelehre zeigen vielmehr, daß das Raumgitter aus Natriumatomen und Chloratomen derart besteht, wie es die Abbildung 16 zeigt. In ihr bedeuten die hellen bzw. dunklen Kreise die Atome von Natrium bzw. Chlor; die Verbindungsstriche sind lediglich eingefügt, um im Beschauer die räumliche Vorstellung zu wecken. Aus der Loschmidt'schen Zahl, den Atomgewichten der elementaren Bausteine und aus der Dichte des Kristalls kann man für diese den Atom-

abstand im Raumgitter berechnen. Für Steinsalz z. B. findet man ihn gleich $0,28 \mu\mu$.

Röntgenlichtbeugung an Raumgittern. Beugungsspektren des gewöhnlichen Lichts lassen sich durch die Kristallraumgitter nicht gewinnen; die Gitterkonstante ist nämlich hier der Atomabstand, im Beispiele des Steinsalzes also $0,28 \mu\mu$, entspricht demnach einem Gitter, das auf einem Millimeter nicht 1700 Striche enthält, wie unsere besten künstlichen Beugungsgitter, sondern auf der gleichen Strecke etwa 4 Millionen Striche besitzt. Die Gitterkonstante muß, wie schon gesagt wurde, größer sein als die Wellenlänge des zu untersuchenden Lichts; bei einem Gitter, dessen Konstante durch den Atomabstand gegeben ist, trifft dies aber nicht zu. Für Röntgenlicht vermutete Laue eine unter dem Atomabstand gelegene Wellenlänge und sagte die Beugungsbilder voraus, die man bei Röntgenlicht durch Raumgitter erhalten muß, wenn die Vermutung der Wirklichkeit entspricht. Im Gegensatz zu den gewöhnlichen Beugungsbildern, die wegen der Strichgitter lineare Symmetrie besitzen, müssen die durch Raumgitter erhaltenen Beugungsbilder wegen der räumlichen Ausdehnung der Kristallgitter eigenartige symmetrische Punktgebilde aufweisen (Abb. 17). Der Versuch (1912) hat die Voraussagen von Laue glänzend bestätigt und damit zugleich vortreffliches Zeugnis für den Raumgitterbau der Kristalle und für die Wellennatur des Röntgenlichts abgelegt. Aus der winzigen Raumgitterkonstanten hat man für die Röntgenstrahlen Wellenlängen gefunden, die einige tausend Mal von den Wellenlängen des

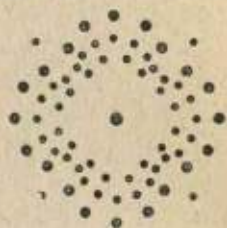


Abb. 17. Die Zeichnung eines Laue-Diagramms zeigt die durch ein Raumgitter gelieferten Beugungsbilder für Röntgenstrahlen.

äußersten noch ausgemessenen Ultraviolett übertroffen werden. Es hat sich auch gezeigt, daß das gewöhnliche Röntgenlicht Strahlen der verschiedensten Wellenlängen (aber von gleicher Größenordnung) enthält, somit dem weißen, d. h. vielfarbigem Licht verglichen werden kann. Bei den Versuchen (1913) von William Henry Bragg und seinem Sohne William Lawrence Bragg kam Röntgenstrahlung einer Wellenlänge (dem einfarbigem Licht, etwa von einer Natriumflamme, vergleichbar) zur Verwendung. Sie photographierten Röntgenlicht, das von einer natürlichen Kristallfläche gespiegelt wurde, waren aber genötigt, zur Erzielung von allen möglichen Einfallswinkeln, den Kristall zu drehen, da die Zurückwerfung der Röntgenstrahlen nur unter ganz bestimmten Einfallswinkeln erfolgt, die von der Größe der Röntgenwellenlänge abhängen. Der für die beiden englischen Forscher recht lästige Zwang, schöne einheitliche Kristalle verwenden zu müssen, entfällt bei dem von P. Debye und P. Scherrer (1916) ersonnenen Verfahren, bei dem feinpulvrige Kristalle bestrahlt werden, welche durch ihre verschiedenen Lagen ohne weiteres die erforderlichen Einfallswinkel gleichzeitig gewährleisten. Daß uns die Chemie die meisten Stoffe kristallinisch liefert, kommt dem Verfahren sehr zu statten, das übrigens auch für Flüssigkeiten anwendbar ist.

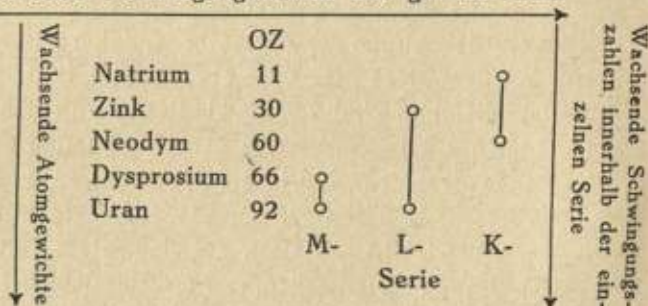
Schon mit den Arbeiten der beiden Bragg, Vater und Sohn, konnte der Raumgitteraufbau zahlreicher Kristalle klargestellt werden; die Auswertung derartiger Ergebnisse nach kristallographischen Gesichtspunkten ist (1915) durch F. Rinne eingeleitet worden. Den Chemikern hat die durch die neuen Versuche gut gesicherte Raumgitterlehre viel zu schaffen gemacht. Für die ältere Valenzlehre ist es ein völliger Versager, wenn im Kochsalzkristall jedes Chloratom von 6 Natriumatomen und jedes Natriumatom von 6 Chloratomen umgeben ist. Die Erklärung gelingt aber, wenn man mit P. Pfeiffer, der diesem Gegenstand seit 1915 seine Auf-

merksamkeit widmete, die sog. Koordinationslehre von Werner zu Hilfe nimmt, was freilich hier — selbst bei K n a p p e r Erklärung — viel zu weit führen würde. Die Auswirkungen solcher Deutungen, mit denen sich heute mehrere Forscher eingehend beschäftigen, werden, wie man schon mit einiger Sicherheit sagen kann, Licht in manche dunkle Ecke des Chemielehrgebäudes bringen, läßt doch P. Pfeiffer auch für organische Verbindungen Raumgitter als notwendig gelten, weil sonst keine Möglichkeit bestehen dürfte, feste isomere Verbindungen zu erklären.

Die Atomserien im Röntgenspektrum. In der Röntgenröhre erregt die Elektronenstrahlung der Kathode Eigenschwingungen der Atome der Antikathode, daher liefert jedes Element, aus dem diese ganz oder oberflächlich besteht, eine „wesentliche Strahlung“, durch die als Röntgenspektrum sehr kräftige Linien entstehen, welche ganz bestimmten Schwingungszahlen entsprechen. Die Röntgenspektren von Verbindungen verraten deren aufbauende Elemente mit einer Deutlichkeit, die leicht gestattet, die elementare Natur von gefundenen Stoffen festzustellen, und die Bezeichnung Atompektren rechtfertigt. Die Wiederkehr der Eigenschaften, die sich in dem periodischen System und in der oft sinnverwirrenden Linienfülle der früher behandelten Lichtspektren offenbart, sucht man in den Röntgenspektren mit ihrer erstaunlichen Einfachheit vergeblich. Da diese aber, wie gesagt, Atompektren sind, bleibt kein anderer Ausweg, als im Bau des Atoms die Erklärung der Röntgenspektren zu suchen. Bei diesen treten für die verschiedenen Elemente drei Liniengruppen auf, die man als K-, L- und M-Serie unterscheidet. Während sich die K-Serie bei den leichteren Atomen vom Natrium bis zum Neodym vorfindet, tritt die durch kleinere Schwingungszahlen bedingte L-Serie vom Zink bis zum Uran auf. Vom Dysprosium ab gesellt sich ihr die noch kleinere

Schwingungszahlen aufweisende M-Serie hinzu. Innerhalb der einzelnen Serien nehmen die Schwingungszahlen mit wachsendem Atomgewicht zu, doch besteht kein einfacher rechnerischer Zusammenhang. Beim Suchen nach dem obwaltenden Gesetz hat H. Moseley Erfolg gehabt durch die Einführung der zunächst höchst willkürlich anmutenden „Atomnummer“, die wir im folgenden zur Vermeidung von Verwechslungen lieber „Ordnungszahl“ des betreffenden Elements nennen und stets durch OZ abkürzen wollen. Sie ist in folgender Aufstellung eingefügt, welche die Ergebnisse dieses Abschnittes noch besonders verdeutlichen soll:

Wachsende Schwingungszahlen der ganzen Serie



Das Gesetz für die Ordnungszahlen der Atome. Die Ordnungszahlen gewinnt man, indem man im periodischen System die Elemente der Reihe nach mit den ganzen Zahlen fortlaufend versieht; so wird die OZ für Wasserstoff 1, für Helium 2, für Lithium 3 usw. Ein gutes Stück weit ist, wie man leicht bemerkt, die Ordnungszahl etwa die Hälfte des jeweiligen Atomgewichts: ein höchst merkwürdiger Umstand! Man muß auch über die Lücken des Systems hinüberzählen, da sie unbekanntem Elementen entsprechen dürften. Die Ordnungszahlen stehen nun, wie Moseley gefunden hat, in einem verblüffend einfachen rechnerischen Zusammenhang mit den Linienserien der Röntgenspektren. Wählt man ganz

beliebig irgend eine Linie und vergleicht die ihr zugehörigen Schwingungszahlen für verschiedene Elemente, so findet man, daß die Quadratwurzeln aus diesen Schwingungszahlen in demselben Verhältnis wie die Ordnungszahlen der betreffenden Elemente wachsen. Das heißt auch: Liegt eine Ordnungszahl in der Mitte zwischen zwei anderen, so liegt die Quadratwurzel aus der Schwingungszahl ebenfalls in der Mitte zwischen den Quadratwurzeln aus den beiden anderen Schwingungszahlen. Wir haben z. B.:

	OZ	Quadratwurzel aus der Schwingungszahl einer bestimmten Linie
Zinn	50	2,48 Millionen
Cäsium	55	2,75 „
Neodym	60	3,02 „

In der Tat liegt 2,75 in der Mitte von 2,48 und 3,02. Dieses gänzlich unerwartete Gesetz von Moseley zeigt auch, daß und wie man über die Lücken im System hinwegzählen muß, um seine Allgemeingültigkeit vom Wasserstoff bis zum Uran zu sichern. Dieses letztgenannte schwerste Element erhält die OZ 92, was nichts anderes sagt als: Vom Wasserstoff bis zum Uran* sind nur 92 Elemente möglich. Von diesen kennen wir heute (Februar 1923) nur 86, es harren also noch sechs ihrer Entdeckung. Aus den Ordnungszahlen 43, 61, 72, 75, 85 und 87 dieser vorläufig noch nicht aufgefundenen sechs Elemente kennt man ihre Stellung im periodischen System und vermag deshalb ihre chemische Eigenart voraussagen. Nr. 43 muß wie Nr. 75 zur Manganfamilie gehören, Nr. 61 und 72 müssen sog. seltene Erden sein, Nr. 85 muß sich als letztes Glied der Halogenreihe dem Jod anschließen, aber stärkeren metallischen Charakter haben; Nr. 87 ist das letzte Alkalimetall (Anm. 20).

* Natürlich ist damit nicht gesagt, daß es über Uran nicht noch Elemente geben kann; wir kennen sie nur nicht!

Moseleys Gesetz erlaubt eine Nachprüfung der früher erwähnten Abweichungen im periodischen System. Dieses fordert, wie man schon länger weiß, Eisen, Kobalt und Nickel in dieser Reihenfolge, die mit der Aufeinanderfolge der Atomgewichte (55,84; 58,79; 58,68) nicht übereinstimmt. Die Schwingungszahlen der Röntgenspektren bestätigen aber die Richtigkeit der genannten Forderung. Ähnlich ist es bei dem Tellur, das den Chemikern schon lange Kopfzerbrechen bereitet hat, da es mit seinem Atomgewicht 127,5 eigentlich auf das Jod (AG = 126,92) folgen sollte. Wegen der chemischen Ähnlichkeit gehört aber Tellur unter das Selen in die Spalte des Schwefels und das Jod in die Spalte des Chlors unter das Brom. Das System fordert also im Widerspruch zu den gut bestätigten Atomgewichten die Reihenfolge Tellur-Jod, und diese hat sich mit den Röntgenspektren bestätigen lassen. In gleicher Weise hat man für Argon (AG = 39,9) und Kalium (AG = 39,10) die Durchbrechung der Reihenfolge der Atomgewichte als notwendig erweisen können.

Atomisierung der Energie. Zwischen der eigentlichen Mechanik, deren Hauptentwicklung durch die Namen Galilei, Newton, Euler und Lagrange gekennzeichnet ist, und der Elektrodynamik, deren Werden an Männer wie Ampère, Faraday, Maxwell und Hertz geknüpft ist, entstand im Verlaufe des 19. Jahrhunderts eine immer breiter werdende Kluft, über die erst in der neuesten Zeit durch die Relativitätstheorie eine tragfähige Brücke geschlagen wurde, die eine einheitliche Behandlung und Erschließung beider Gebiete durch eine Dynamik (im weiteren Sinne) zuläßt. Zur Theorie der Wärmeerscheinungen, die seitab wie ein einzeln ragender Fels stand und von beiden Seiten her unzugänglich war, führt erst seit dem letzten Jahrzehnt ein Steg von der allgemeinen Dynamik, erbaut unter dem Einfluß der mit den Mitteln der Statistik arbeitenden Wahrscheinlichkeitsrechnung. Den An-

stoß gab das Suchen einer Beziehung zwischen dem Wärmegrad eines mit bestimmter Schwingungszahl (Farbe) strahlenden Körpers und der Strahlungsstärke. Für Max Planck, der hier bahnbrechend tätig war, blieb (1900) nur die eine Lösungsmöglichkeit übrig, die sich uns heute in der gut ausgebildeten Quantentheorie zeigt und im wesentlichen auf eine Atomisierung der Energie hinausläuft. Damit drängt sich in die Dynamik ein ihr zunächst völlig fremder und unerwünschter Gast mit seltsamem Namen ein: das elementare Wirkungsquantum. Von ihm zu sprechen ist Verlegenheit, weil hier die Anschaulichkeit völlig aufhört, die P. Volkmann (1900) als wesenbestimmendes Merkmal einer Hypothese ansehen will (unter Verwechslung der psychologischen und logischen Aufgabe von Hypothesen). Wir werden eher M. Planck zustimmen: „Der Maßstab für die Bewertung einer physikalischen Hypothese liegt nicht in ihrer Anschaulichkeit, sondern in ihrer Leistungsfähigkeit“. Diese letztere ist in der Tat außerordentlich groß und läßt uns die begrifflichen Schwierigkeiten vergessen, die sich einstellen, wenn wir nun neben der Unstetigkeit der Materie auch noch eine Unstetigkeit der Energieabgabe einführen müssen; hat doch Plancks Quantenlehre unsere Auffassungen von den Strahlungserscheinungen in einer noch kaum zu überblickenden Weise umgewandelt und die ganze Energetik tiefwirkend beeinflusst. Wie durch die Quantenlehre Mechanik, Elektro- und Thermodynamik in eins verschmolzen werden, gehört nicht zum Gegenstand unserer Betrachtungen. Wenn die Physik nur „grobe“ Vorgänge darstellen will, kann sie des Eindringlings entraten, braucht ihn aber überall da, wo es — wie bei unserem Fragenbereich — auf Feinbauvorgänge ankommt.

Die Quantenlehre. Einem Kübel können wir Wasser auf zweierlei Weise entnehmen: einmal durch Ausschütten in

dauerndem Strahl, dann aber auch „quantenhaft“, indem wir es mit einem Löffel allmählich herausschöpfen. Die Kriegstechnik benutzte den stetig wirkenden Flammenwerfer und das „quantenhaft“ arbeitende Maschinengewehr. Aus den Betrachtungen der Elektrolyse usw. ist uns durch die Einführung des Elektrons die Vorstellung von Energieatomen oder Energiequanten eigentlich schon geläufig, trotzdem mutet sie uns bei anderen Energieformen zunächst fremd an. Nach Planck erfolgt die Energieaussendung eines strahlenden Körpers nicht gleichmäßig, stetig, sondern in kleinsten „Energieelementen“. Für eine mit bestimmter Wellenzahl ν schwingende Strahlung erhält man das Energieelement ε , indem man die Schwingungszahl ν mit einer sehr kleinen, sich stets gleichbleibenden Arbeitsgröße h , dem sog. Planck'schen Wirkungsquantum, vervielfacht, also $\varepsilon = h \cdot \nu$. Die Physik benutzt als kleinste Arbeitseinheit das Erg, von dem etwa 36 Billionen auf die Kilowattstunde, die Arbeitseinheit der Technik, kommen. Ungefähr 6500 Quadrillionen Wirkungsquanten machen ein Erg aus, demnach gehen rund 200 000 Sextillionen Wirkungsquanten auf eine Kilowattstunde.

Da Violett etwa die doppelte Wellenzahl hat wie Rot, besagt die Beziehung $\varepsilon = h \cdot \nu$, daß dem violetten Licht etwa das doppelte Energieelement eignet, wie dem roten. Wer mit der Geschichte der Optik nur oberflächlich vertraut ist, wird in der Vorstellung der quantenhaften Lichtaussendung eines strahlenden Atoms (in den Energiegüssen statt des Energiestroms) wegen der Ähnlichkeit leicht eine Rückkehr zur Emissionstheorie von Newton erblicken, die bekanntermaßen keineswegs der ganzen Optik genügt. Bei genauerem Zusehen bemerkt man aber einen wesentlichen Unterschied, die Energieelemente spielen nämlich nur bei der Erzeugung des Lichts eine Rolle, die Ausbreitung erfolgt im Sinne der Undulationstheorie, deren Entwicklung von Huygens über Maxwell und Hertz führt. Es ist deshalb gar nicht angebracht

zu behaupten, die Quantentheorie lasse Newtons Ansicht über das Wesen des Lichts wiederum aufleben.

Das Atommodell. Um die mannigfachen, bisher von uns behandelten Vorgänge im Atom zu erklären, trat Rutherford im Jahre 1911 an die Öffentlichkeit mit seinem „Atommodell“, dem aber zunächst noch der Mangel anhaftete, daß es mit der Quantenlehre nicht in Einklang gebracht war. Indem der Däne Niels Bohr (1913) diese Verknüpfung vollzog, schuf er die Vorstellung vom Feinbau des Atoms, die sich heute — natürlich mannigfach ergänzt — mit überraschend gutem Erfolge durchgesetzt hat. Was sich im Atom abspielt, wird den Bewegungsvorgängen im Planetensystem verglichen. Die Möglichkeit dazu liegt zunächst einmal in derselben Form, die das Coulomb'sche Gesetz über die Anziehung elektrischer Massen und das den Makrokosmos beherrschende und die Kepler'schen Gesetze bedingende Anziehungsgesetz von Newton aufweisen.

Dem durch sog. gemeinverständliche Schriften in Laienkreise getragenen Glauben, das Atom sei ein Planetensystem wie dasjenige, dem unsere Erde angehört, müssen wir schon einleitend entgegenreten. Es handelt sich nur um einen Vergleich, wie sich jedem — dem die astronomischen Grundtatsachen nicht fremd sind — schon bei den Einschränkungen für die Bahndurchmesser deutlich zeigen wird. Der Sonne vergleichbar ist ein „Atomkern“ vorhanden, um den eine Elektronenwolke kreist, die man der Gesamtheit der großen und kleinen Planeten einigermaßen vergleichen kann. Wie in unserem Planetensystem, das „erschreckend leer“ ist, sind auch im Atomsystem die einzelnen Gebilde im Verhältnis zu ihren gegenseitigen Abständen sehr klein. Der Durchmesser einer solchen Atomwelt liegt nach den Rechnungen der kinetischen Theorie in den Zehnmillionteilen eines Millimeters. Selbst so winzigen Ausmaßen gegenüber ist der

Durchmesser des Kerns sehr klein, beträgt er doch z. B. für Wasserstoff nach den Rechnungen von Marsden nur 1,7 Billiontel Millimeter. Die um den Kern kreisenden Elektronen bilden aber Zwischenräume, die das 10 000 bis 100 000fache des Elektronendurchmessers ausmachen. Die eigentliche undurchdringliche Materie ist somit auf kleinste Raumteile beschränkt, in denen stärkste elektrische Felder wirksam sind (Dynamidentheorie von Lenard). Würde man alle Teilchen die einem Kubikmeter des sehr dichten Platins zugehören, undurchdringlich zusammenpacken können, so hätten sie — nach einer von Lenard durchgeführten Rechnung — in einem nur den milliardsten Teile ausmachenden Raume, in einem Kubikmillimeter Platz!

Die Bedeutung der Ordnungszahl im Atomweltssystem.

Das nach außen hin unelektrische Atom enthält in der Elektronenwolke die negative und im Kern die positive Elektrizität, wobei die Ordnungszahl des betreffenden Elements angibt, wieviel Elektronen sich um den Kern bewegen. Für ebensoviele positive Ladungen ist der Atomkern Träger. Beim Wasserstoffatom bewegt sich demgemäß ein Elektron um den Kern, der eine positive Ladung besitzt, während im Atomsystem des Urans eine Wolke von 92 Elektronen ihre Bewegung um den Kern ausführt, dem 92 positive Ladungen zukommen. Da isotope Elemente die gleiche Ordnungszahl haben, besitzen sie auch dieselbe Zahl von Elektronen und von positiven Kernladungen.

Nach dem Gesagten ist das Wasserstoffatom am einfachsten gebaut, in seiner Welt finden wir die Bedingungen des Kepler'schen Zweikörperproblems, während in der Welt der schwereren Atome wegen der größeren Elektronenzahl das Vielkörperproblem Geltung hat, das sich nach einfachen Integrationsverfahren nicht behandeln läßt und in seiner allgemeinen Form für die Mathematik einstweilen noch nicht lös-

bar ist. Wir können darum über den Atomfeinbau sämtlicher Elemente zwar allgemeine Aufschlüsse gewinnen, zu genaueren Einzelheiten aber vorerst nur bei den Elementen von niedriger Ordnungszahl gelangen und müssen uns einstweilen mit der Hoffnung auf allmähliches tieferes Eindringen begnügen.

Die Bahnen von Planeten und Elektronen. Die gewöhnliche Mechanik läßt in unserem astronomischen Planetensystem alle Bahndurchmesser als möglich gelten und ordnet nur mit dem dritten Gesetz Keplers die Umlaufzeiten in bestimmter Weise den Entfernungen zu (Anm. 21). Die Erde könnte z. B. auch einen größeren als den tatsächlich vorhandenen Sonnenabstand haben, dann wäre nur die Umlaufzeit größer, d. h. das Jahr länger. Wäre etwa der Sonnenabstand der Erde 300 — statt 150 — Millionen Kilometer, so hätte das neue Erdjahr nach dem dritten Gesetze Keplers etwa die 2,8fache Länge. In dem Atom-Weltssystem ist — wie in dem astronomischen — die Umlaufzeit der Elektronen in Kernnähe geringer als in größerem Abstand. Der Unterschied besteht aber: die denkbaren Elektronenbahnen sind nicht auch alle möglich. Ein auf krummliniger Bahn sich bewegendes Elektron muß nach der Maxwellschen Lehre Energie ausstrahlen und dabei Bewegungsenergie verlieren, dadurch aber sein eigenes Dasein gefährden und in kürzester Zeit auf den Kern stürzen. Die Elektronenbahnen dürfen daher nicht strahlen. Die Quantenlehre zeichnet deshalb gewisse Bahnen aus, die den ganzzahligen Vielfachen des Wirkungsquantums zugeordnet sind und dadurch eine unstetige Folge bilden. Anders ausgedrückt: Es gibt nur gewisse „zulässige“ Bahnen, während alle denkbaren Zwischenbahnen ausgeschlossen sind.

Mit verhältnismäßig einfachen mathematischen Rechnungen findet man, daß die Durchmesser (also auch die Radien

oder Halbmesser) der „zulässigen“ Elektronenbahnen sich wie die aufeinanderfolgenden Quadratzahlen $1 : 4 : 9 : 16 : 25 \dots$ oder wie $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2 : 5^2 \dots$ verhalten müssen (Abb. 18).

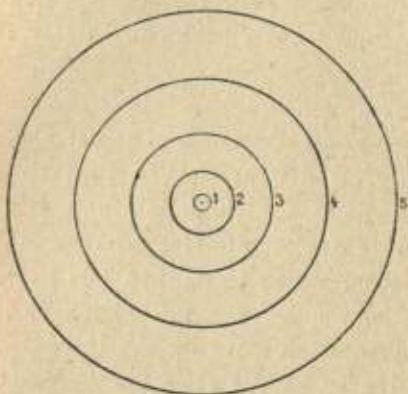


Abb. 18. Die ein- bis fünfquantigen kreisförmigen Elektronenbahnen haben Durchmesser, die sich wie die aufeinanderfolgenden Quadratzahlen verhalten.

Man spricht deshalb auch von ein-, zwei-, drei-, vier-, fünf- . . . quantigen Bahnen. Hier ist der Schlüssel zu der ganz außerordentlichen Leistungsfähigkeit des Atommodells von N. Bohr. Dieser konnte nämlich für ein chemisches Element die Wellenlängen (bezw. Schwingungszahlen) seiner Spektrallinien lediglich aus der Ordnungszahl vorausberechnen, da Ladung und Masse

des Elektrons stets in gleicher Weise in den Formelausdruck eintreten, der mit der uns schon bekannten Beziehung von Balmer übereinstimmt. Dieser schöne Erfolg ist als der beste Beweis für die Richtigkeit der Atombauforschung anzusehen.

Die Elektronen können aus einer „zulässigen“ Bahn in eine andere „zulässige“ überspringen, wobei zwei Fälle zu unterscheiden sind. Springt ein Elektron aus seiner Bahn in eine engere, also dem Kern nähere, so gibt es eine dem Elementarquantum $\varepsilon = h \cdot \nu$ gleiche Energiemenge ab, wodurch das Atom das zur Schwingungszahl ν gehörige einfarbige Licht in den Raum hinaussendet, das man im Spektralapparat als ganz bestimmte Linie erkennt. Bei Energiezufuhr dagegen werden Elektronen ganz entsprechend nach Außenbahnen gedrängt. Wir erreichen dies z. B., wenn wir einem verdünnten Gas in der Entladungsröhre elektrische Energie

zuführen. Die dadurch nach außen gedrängten Elektronen streben wieder in die kernnäheren Bahnen zurück und strahlen dabei, wie vorhin geschildert wurde, Licht aus. Dabei senden Trillionen von Atomen dasselbe rote Licht, andere Trillionen dasselbe grüne, wieder andere Trillionen dasselbe blaue Licht aus usw. Die Gesamtheit aller Atome bedingt daher das aus den verschiedenen Einzelfarben zusammengesetzte Linienspektrum, wobei diejenige Linie am hellsten erscheint, die der Höchstzahl der farbig ausstrahlenden Atome ihre Entstehung verdankt.

Elliptische Elektronenbahnen. Ein voller Erfolg mit der Vorausberechnung von Spektrallinien aus dem Atommodell war N. Bohr zunächst nur beim Wasserstoff beschieden, ließ sich aber auch für andere Elemente erzielen, als A. Sommerfeld im Jahre 1914 noch elliptische Elektronenbahnen zu Hilfe nahm. Das sog. erste Kepler'sche Gesetz der Himmelsmechanik „Jeder Planet durchläuft eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht“ ist der genauere Ausdruck des nur angenähert richtigen Satzes, daß der Planet die Sonne umkreise (Anm. 22). Sommerfeld nimmt ganz entsprechend in dem Atomsystem „zulässige Ellipsen“ neben den „zulässigen Kreisen“ an, wodurch zwar verwickeltere Verhältnisse auftreten, die aber den beobachtbaren Tatsachen besser genügen (Anm. 23).

Zur Quantenzahl 1 gehört eine Kreisbahn, deren Halbmessergröße wir R nennen wollen. Für die Quantenzahl 2 sind zwei Bahnen möglich, zunächst ein Kreis mit dem Halbmesser $4R$ (nämlich $2^2 \cdot R$) und dann eine Ellipse mit den Halbachsen $2R$ und $4R$, also dem Achsenverhältnis $1:2$. Kreis und Ellipse haben einen Brennpunkt gemeinsam, sie sind — wie man in der Geometrie sagt — „konfokal“. Zur Quantenzahl 3 gehören drei Bahnen: ein Kreis mit dem Halbmesser $9R$ (nämlich $3^2 \cdot R$), eine Ellipse mit den

Halbachsen $\frac{2}{3} R$ und $9 R$, also dem Achsenverhältnis 1:2, und eine zweite Ellipse mit den Halbachsen $\frac{2}{3} R$ und $9 R$, also mit dem Achsenverhältnis 1:3. Kreis und beide Ellipsen sind wieder konfokal (Abb. 19). Entsprechendes gilt für die höheren Quantenzahlen.

Unter dem Einflusse eines kräftigen elektrischen Feldes auf das Atom werden die ebenen Ellipsen zu räumlichen Kurven umgestaltet (Anm. 24). Der dadurch veränderte Energie-

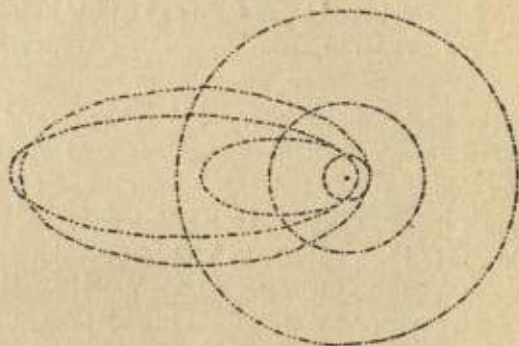


Abb. 19. Einquantige (-), zweiquantige (-·-) und dreiquantige (-·-·) konfokale Ellipsen und Kreise als Elektronenbahnen um den Atomkern haben nach Sommerfeld die dargestellten Achsenverhältnisse.

inhalt erlaubt die Deutung des sog. Stark-Effektes, d. h. der von Stark (1914) entdeckten Einwirkung kräftiger elektrischer Felder auf die farbigen Spektrallinien.

Bei der außerordentlichen Umlaufgeschwindigkeit der Elektronen in ihren Bahnen muß an die Stelle der für langsame Bewegungen geltenden „klassischen Mechanik“ (nach Galilei und Newton) die neuere „Relativitätsmechanik“ treten, bei der die Masse und die von ihr bedingte Bewegungsenergie des Elektrons in Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit in die Formeln eingehen. Die elliptischen Bahnen bringen dabei noch eine Besonderheit, da sie — im Gegensatz zur Kreisbahn — mit veränderlicher Geschwindigkeit durchlaufen werden. Damit kommt man aber zu einer ungezwungenen Er-

klärung für das Auftreten doppelter Linien (Dublets), wie man sie seit dem Bau kräftig auflösender Spektralapparate schon längere Zeit kennt. Für den Wasserstoff erklärt sich die Doppelung aus der zur Quantenzahl 2 gehörigen zweifachen Erzeugungsweise durch Kreis oder Ellipse.

Nochmals das periodische System. Zum Verständnis der neuesten Forschungen über das Atommodell bedarf es eines Zurückgreifens auf das periodische System, dessen Urheber noch nichts von den Edelgasen wußten. Als diese verbindungsunfähigen Elemente bekannt wurden, zeigte sich das Merkwürdige, daß sie sich ganz ungezwungen dem System einfügen ließen, enthielten doch seine Einzelspalten die ein-, zwei-, drei . . . wertigen Elemente und wurden nun durch die sinngemäß an den Anfang tretende Spalte der nullwertigen Edelgase eingeleitet. Diese geschichtlich gerade so gewordene Systemform hat sich gut eingebürgert und kann beibehalten werden, wenn sie nicht auch noch den Atomfeinbau der Elemente wiederspiegeln soll. Um auch diesem zu genügen, muß man eine andere, auf Tafel 3 wiedergegebene Anordnung wählen, die auf A. Werner zurückgeht und vor allem durch P. Pfeiffer ihre Verbreitung findet. Bei ihr beginnen die Perioden (Zeilen) nicht mit den Edelgasen, sondern mit den einwertigen Elementen, dem Wasserstoff und den Alkalimetallen, und endigen mit den Edelgasen. Der Vollständigkeit halber sind außer den Ordnungszahlen noch die chemischen Zeichen und die Atomgewichte eingefügt. Die offenen Plätze im System treten deutlich hervor, an ihnen ist nur die Ordnungszahl eingesetzt. Für die Anzahl der Elemente in den einzelnen Reihen findet man (außer bei der letzten, vielleicht noch unvollständigen) die Zahlen 2, 8, 18 und 32 oder $2 \cdot 1$, $2 \cdot 4$, $2 \cdot 9$ und $2 \cdot 16$. Das heißt: Die Zahl der Elemente der einzelnen Perioden wird durch die doppelten Quadratzahlen angegeben. Ob es sich bei dieser

von Rydberg (1914) bemerkten Beziehung nur um ein Spiel des Zufalls oder um mehr handelt, läßt sich noch nicht sagen. Dem Glauben an eine hier obwaltende Gesetzmäßigkeit lassen sich gewichtige Bedenken entgegenstellen (Anm. 25).

Die Elektronenschalen. Die mit steigender Ordnungszahl anwachsende Elektronenschar bringt für die schweren Atome gewisse, nicht unbeträchtliche Erklärungsschwierigkeiten, ist doch die Periodizität des chemischen Verhaltens der Elemente höchst wahrscheinlich in der räumlichen Anordnung, in der Gruppierung der Elektronen begründet. Nicht an eine regellose Verteilung der Elektronen um den Kern herum ist zu denken, sondern an eine regelmäßige Anordnung in Ringen oder gar auf „Schalen“, womit W. Kossel, dem man diese Anschauungen verdankt, sagen will, daß sich die Elektronen gruppenweise, etwa auf gedachten Kugeloberflächen bewegen, die den Kern einhüllen. Die besondere Bedeutung der Zahl 8 im periodischen System legte Kossel den Gedanken nahe, Anordnungen von jeweils acht Elektronen auf einer Schale als die stabilsten Formen anzunehmen. Es gelang ihm bereits 1916, damit für die ersten zwei Perioden des Systems brauchbare Modelle zu ersinnen, welche auch die Herleitung der Molekülbilder für Elemente und Verbindungen gestatteten. Nach seiner Vorstellung soll jedes Edelgasatom in seiner äußersten Schale acht Elektronen enthalten. Bei der im vorigen Abschnitt gegebenen neueren Form des periodischen Systems bringt dann jede neue Periode die Anlage einer neuen Schale, die am Periodenende bei dem betreffenden Edelgase durch Besetzung mit den acht Elektronen ihre stabilste Form findet. Wenn nicht alle Zeichen trügen, kommt man mit der Annahme über die Elektronenschalen und die Zahl der sie besetzenden Elektronen den wirklichen Verhältnissen (wenn wir überhaupt so sagen dürfen) sehr nahe, doch darf man

die Einschränkung nicht vergessen, daß dies alles einstweilen nur für die verhältnismäßig leichten Elemente Geltung hat. Hier zu erweitern wird nächste Pflicht der Forschung sein, der auch das Aussehen der Achterfiguren noch allerlei schwierige Rätsel aufgibt. Die Hoffnung auf Erfolg dieser mühsamen Untersuchungen liegt in dem allmählich durch sie gelingenden Aufhellen des Dunkels über dem Wesen der Valenz.

Atombau und Valenz. Einem Erklärungsversuch, der dem Chemiker sehr dienstbaren, bei schärferem Zusehen aber sehr geheimnisvollen Valenzkräfte ist die Wissenschaft lange aus dem Wege gegangen. Das Strichbild der Chemie — namentlich der organischen — war ein derart brauchbares Hilfsmittel, um Ordnung und Entwicklung der dem Chemiker geläufigen Begriffe zu liefern, daß dieser dem wahren Wesen der Valenz entweder gar nicht nachging oder sich schon mit schüchternen Erklärungsversuchen zufrieden gab. Man begnügte sich, die Valenzkräfte zu beschreiben, und war froh, wenn man rein erfahrungsmäßig immer wieder das Zutreffen der geschaffenen Regelmäßigkeiten bei ihrem Auftreten bestätigt fand. Die Möglichkeit, den Aufbau höchst verwickelter organischer Verbindungen mit der gewöhnlichen Annahme von Valenzkräften verständlich machen zu können, hat sich so trefflich bewährt, daß oft das Bewußtsein von dem hypothetischen Charakter dieser Kräfte völlig zurückgedrängt wurde. Man ließ Annahmen als Wirklichkeiten gelten und vergaß die Wahrheit der Worte von Berzelius: „Die Gewohnheit einer Meinung ruft oft die völlige Überzeugung von ihrer Richtigkeit hervor; sie verbirgt die schwächeren Teile davon und macht sie unfähig, die Beweise dagegen anzunehmen.“

Vor allem ging man achtlos an den sog. Komplexverbindungen vorbei, die durch Aneinanderlagern von Molekülen entstehen, deren einzelne Atome ihr ganzes Bindungsver-

mögen bereits innerhalb der Moleküle betätigt haben. Hierher gehört z. B. das Salmiaksalz (Chlorammonium) von der Formel NH_4Cl , das sich leicht aus Ammoniak NH_3 und Salzsäure HCl bildet. Stickstoff und Wasserstoff sind aber im Ammoniak völlig gebunden, desgleichen Wasserstoff und Chlor in der Salzsäure. Trotzdem keine Valenz mehr frei ist, vereinigen sich NH_3 und HCl zu NH_4Cl . Elektrolytisch erfolgt die Zerspaltung in ein negatives Chlorion und in ein positives Ion von NH_4 . Wie in vielen anderen Verbindungen spielt dieses NH_4 hier und auch sonst durchaus die Rolle eines Metalls und wird mit besonderen Namen als „Ammonium“ bezeichnet.

Bei der Erforschung von Komplexverbindungen hat A. Werner (1913) sehr viel zur Klärung über die Valenzkräfte beigetragen, jedoch lassen seine Ergebnisse keine Behandlung vor Nichtchemikern zu. Für unsere Zwecke kommt es auch mehr auf die Arbeiten (1916 f.) von W. Kossel an, der die Valenzbetätigung der Atome aus elektrischen Kräften zu erklären versucht. Freilich sind die Schwierigkeiten, die sich einer völlig ausreichenden Deutung und rechnerischen Bewältigung auf dieser Grundlage entgegenstellen, außerordentlich groß, doch kann man schon heute sagen, daß die elektrostatische Deutung der Valenzkräfte einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit besitzt. Unabweisbar, jedoch im Einklang mit anderen Ergebnissen, muß man das gegenseitige Verhalten von Atomen, wie es für die Molekülbildung wichtig ist, als durch diejenigen Elektronen bedingt ansehen, die die äußerste Schale besetzen. Die näheren Umstände stehen heute im Brennpunkt des Forschens und dürften schon in den nächsten Jahren ermittelt werden, um das Rätsel der Valenz in völlig befriedigender Weise zu lösen.

Um wenigstens einen Einblick zu geben, wollen wir von einem Edelgas ausgehen, dessen äußerste Schale mit der Achtergruppe von Elektronen völlig besetzt ist und daher

das Atom als nullwertig, als verbindungsunfähig erscheinen läßt. Das dem Edelgas im System folgende Element (ein Alkalimetall) hat eine um 1 größere Ordnungszahl, hat daher — wie wir von früher wissen — ein weiteres Elektron und, da das Atom neutral ist, auch eine weitere positive Kernladung. Da sich das Elektron auf einer neuen, die letzte Achtergruppe umhüllenden Schale bewegt, hat es keine Schwierigkeit, dem Atom dieses Elektron, d. h. eine negative Ladung zu rauben oder — anders ausgedrückt — ihm eine positive Ladung zu geben, es positiv zu ionisieren. In der Tat besitzen die auf die Edelgase folgenden Elemente (die Alkalimetalle) positive Ionen, die bei der Elektrolyse von der negativen Kathode angezogen und entladen werden (indem sie das fehlende Elektron wieder erhalten) und sich als unelektrische Atome abscheiden. Bei den Atomen der Elemente, die den Edelgasen unmittelbar vorhergehen, (bei den Halogenen) ist die äußerste Schale nur von 7 Elektronen besetzt. Hier ist nicht mit einem Entziehen von sieben, wohl aber mit dem Hinzufügen von einem Elektron zu rechnen. So bildet sich ein elektronegatives Ion, das bei der Elektrolyse der positiven Anode zustrebt, sich an ihr entlädt und zum unelektrischen Atom wird.

Das Vorstehende gestattet die Erläuterung der Atomverknüpfung im Molekül. Als Vertreter einer Verbindung wählen wir das Chlornatrium oder Kochsalz; es handelt sich dann um das Halogen Chlor und um das Alkalimetall Natrium. Das Natriumatom gibt sein äußerstes Einzelelektron in den Siebenerverband der Elektronschale des Chloratoms ab, die damit ihre stabilste Form erhält. Wie man sieht, fügt sich nicht ein unelektrisches Natriumatom zu einem unelektrischen Chloratom, vielmehr verkettet sich das positive Natriumion mit dem negativen Chlorion zum unelektrischen Chlornatriummolekül. Ganz ungezwungen ergibt sich auf diese Weise eine Erklärung der Elektrolyse des

Chlornatriummoleküls, sowie der Einwertigkeit seiner Aufbauatome. In ähnlicher Weise lassen sich andere Molekülmodelle schaffen; wir sind aber noch keineswegs in der Lage, dies für alle, ja nur für zahlreiche Verbindungen auszuführen, worüber man sich bei der Neuheit des Gegenstandes nicht wundern darf. Wir ahnen die Lösung des Valenzrätsels, doch bleibt noch viel zu tun übrig. Vorerst jedenfalls kann die praktische Chemie des Strichbildes, der Raumformeln usw. noch nicht entraten.

Innere und äußere Atomelektronen. Unsere letzten Betrachtungen haben schon einen Unterschied im Verhalten der dem Kern näheren oder ferneren Elektronen angedeutet, das zu weiterem Betrachten nötigt. Nach früherem weisen die Röntgenspektren der verschiedenen Elemente zwar denselben Gesamtbau auf, aber auch eine mit wachsendem Atomgewicht sich nach den größeren Schwingungszahlen hin vollziehende Lageverschiebung. Da die äußeren Bedingungen, denen man das Atom unterwirft, die Röntgenspektren nicht beeinflussen, müssen diese ihre Ursache in den kernnahen Elektronen haben, in einer solchen Tiefe des Atominnern, daß wir mit den gewöhnlichen „äußeren“ Kräften der Chemie nicht bis zu ihr dringen können. Wir dürfen ferner einen gleichartigen kernnahen Aufbau bei den Atomen der verschiedenen Elemente vermuten.

Von den äußersten, kernfernen Elektronen, vom Atomäußern oder, wenn man so sagen will, von der Atomoberfläche rühren die gewöhnlichen Lichtspektren her, die uns mit ihrer Linienwirrnis vorläufig noch den völligen, allseitigen Einblick in das Elektronengebäude des Atoms verwehren, obgleich schon von den verschiedensten Richtungen aus Lichtöffnungen angelegt sind. Da die Chemie — im landläufigen Sinne — im Bereich der optischen Spektrallinien arbeitet, befaßt sie sich nach dem Gesagten eigentlich

nur mit den durch die kernfernen Elektronen bedingten Oberflächeneigenschaften des Atoms und dringt (in doppelter Bedeutung!) nicht bis zum Kern. Ihr fehlt daher das Unterscheidungsmittel für außengleiche Atome, wie wir sie bei isotopen Elementen annehmen müssen. Ob diese gleichgebaute Kerne besitzen, mag dahingestellt sein, gleiche Kernladungen besitzen sie jedenfalls, kommt doch jeder Plejade der nämliche Platz im periodischen System zu, also auch die nämliche Ordnungszahl, die gleiche Zahl positiver Kernladungen und dieselbe Zahl negativer Elektronen.

Die Beschaffenheit des Kerns. Die Ordnungszahl eines Elements gibt die Zahl der negativen Elektronen oder der dem Atomkern anhaftenden positiven Ladungen an, besagt aber gar nichts über dessen Natur. Diese ist uns auch noch recht dunkel, darüber darf man sich durch die in „populären“ Schriften oft mit großer Bestimmtheit vorgetragene Ansichten nicht täuschen lassen. Die Meinungen der Forscher über die Kernbeschaffenheit sind noch sehr geteilt und mit inneren Widersprüchen vorläufig noch zu stark durchsetzt. Rutherford möchte den (positiven) Kern des Wasserstoffatoms, also das Wasserstoffion, als positives Elektron annehmen. Bei den anderen Elementen soll der Kern aus einem durch die Ordnungszahl festgelegten Vielfachen solcher positiver Elektronen oder Wasserstoffkerne bestehen; man befindet sich damit im Banne der noch zu besprechenden Lehre von Prout. Für Rutherfords Annahme spricht jedenfalls die von ihm zuerst (1919) beobachtete Zerfällung des Stickstoffs durch Beschießung der undurchdringlichsten Stellen des Atoms mit den wuchtigsten, bisher bekannten Geschossen, den Alphateilchen.

Das Zerschießen des Stickstoffatoms. Die stärkste Erschütterung des Atomgefüges gelingt durch eine auf die Kern-

mitte gerichtete Beschießung durch ein Alphateilchen, ein Fall, der allerdings wegen der großen Leere des Atomraumes und wegen der geringen Kernaussmessung nur höchst selten eintreten kann. Wenn, was leichter möglich ist, ein Alphateilchen mit einem Elektron zusammentrifft, wird dessen negative Ladung durch eine der beiden positiven Ladungen des Alphateilchens gebunden und letzteres besitzt auf seinem weiteren Wege nur noch eine positive Ladung. Bei einem weiteren Zusammentreffen mit einem Elektron wird auch diese gebunden und das Teilchen ist unelektrisch, hat demnach seine Ionisierungsfähigkeit verloren; das heißt aber: der Alphastrahl hört in der nun verständlich werden den „Reichweite“ plötzlich auf.

Wenn das Alphateilchen beim Durchfliegen des leeren Atomweltraumes einem positiven Kerne nahekommmt, wird es wegen der gleichnamigen Ladung kräftig von diesem abgestoßen und ändert seine Bahnrichtung ganz erheblich. Man hat es dann nach Rutherford mit einer Abknickung zu tun, wie man sie bei den Nebelstrahlen in Wilsons Versuch gelegentlich bemerkt. Der scheinbar naheliegende und darum gern herangezogene Vergleich mit der Bahnänderung eines in das Sonnensystem eindringenden Kometen hinkt deshalb sehr bedenklich, weil ja die Sonne den Kometen anzieht und keineswegs abstößt.

Da die Kerne sehr klein und gegenüber den Elektronen stark in der Minderzahl sind, erfolgt die zuletzt geschilderte Abknickung des Alphastrahls recht selten. Noch viel seltener aber wird ein Alphateilchen unmittelbar auf einen Kern geschossen werden, dann aber allerdings verheerend wirken. Rutherford hat diesen Vorgang (1919) beobachtet, als er reinen Stickstoff der Beschießung durch Alphateilchen unterwarf, die aus Radium C stammten, bei dem sie besonders große Wucht haben. Gelegentlich zeigte sich nun die Reichweite der Teilchen sehr gesteigert. Eine große Über-

raschung brachte die Untersuchung dieser rätselhaften Teilchen, erwiesen sie sich doch bei Ablenkung im magnetischen und elektrischen Feld als positiv geladener Wasserstoff. Nach Rutherford ist der Stickstoffkern durch einen kräftigen Mittenstoß in Teilchen von Helium und Wasserstoff zersprengt worden und zwar jedes Stickstoffatom ($AG = 14$) in drei Atome Helium ($AG = 4$) und zwei Atome Wasserstoff ($AG = 1$). Für die Atomgewichte gilt dann die Beziehung $1 \cdot 14 = 3 \cdot 4 + 2 \cdot 1$.

Als Rutherford's Zerfällung des Stickstoffs bekannt wurde, las man viel von der Möglichkeit, den Luftstickstoff, der uns ja in unerschöpflichen Mengen zur Verfügung steht, künftig in das brennbare und für die Luftschiffahrt wertvolle Wasserstoffgas verwandeln zu können. Mit nichten! Selbst stundenlange Alphabeschießung des Stickstoffs durch Radium C liefert nur wenige Wasserstoffatome. Nach menschlichem Ermessen ist es darum wohl für alle Zeiten ausgeschlossen, auf diesem Wege aus dem Stickstoffgas Wasserstoff in verwertbarer Menge zu erhalten. Rutherford, der die vergrößerte Reichweite durch Lichtblitze auf einem Leuchtschirm feststellte, schildert überzeugend die Mühen der Beobachtung. Sie ist täglich höchstens eine Stunde lang möglich, doch benötigt das Auge nach jeder Minute Anstrengung auch wieder eine Minute Ruhe! Werden sich auch, wie nun leicht einzusehen ist, die Hoffnungen auf technische Wasserstoffgewinnung durch Alphabeschießung von Stickstoff nicht erfüllen, der wissenschaftliche Wert der Feststellung, daß das Atom des Stickstoffs (eines nicht radioaktiven, nicht zerfallenden Elementes!) aus Atomen anderer Elemente zusammengefügt ist, wird darum nicht gemindert.

Die Verschiebungsgesetze für den Atomzerfall. Für die mit Alpha- oder Betastrahlung verknüpften Umwandlungen radioaktiver Stoffe haben Fajans und Soddy (1913) zwei

wichtige „Verschiebungsgesetze“ aufgestellt, die darauf hinauslaufen, daß eine Alphastrahlung das Element im periodischen System nach links (im Sinne kleiner werdender Atomgewichte), eine Betastrahlung dagegen nach rechts verschiebt. Mit der inzwischen gut eingebürgerten Ordnungszahl kann man die Gesetze heute in einer Form aussprechen, die bequemer ist als die ursprüngliche: Bei einer Alpha-Umwandlung verringert das Element seine Ordnungszahl um die Größe 2 und sein Atomgewicht um die Größe 4. Bei einer Beta-Umwandlung dagegen vergrößert sich die Ordnungszahl um eine Einheit, während das Atomgewicht so gut wie ungeändert bleibt. Die Deutung ergibt sich ganz ungezwungen. Da ein Alphateilchen, wie wir wissen, ein Heliumatom mit doppelter positiver Ladung ist, erklärt sich die Verringerung des Atomgewichts um den Betrag 4 (d. h. um das Gewicht eines Heliumatoms) und der die positiven Kernladungen angegebenden Ordnungszahl um die Größe 2. Bei einer Beta-Umwandlung wird ein negatives Elektron frei, das wegen seiner geringen Masse das Atomgewicht so gut wie unverändert läßt, aber eine positive Kernladung, die es bisher gebunden hielt, frei gibt, wodurch die Ladungszahl des Kerns, d. h. die Ordnungszahl des Atoms, um eine Einheit größer wird.

Das führt nun zu einer hochwichtigen Folgerung. Wenn ein Element eine Alphaumwandlung erfährt und dieser dann zwei Betaumwandlungen folgen, hat sich die Ordnungszahl zunächst um 2 verringert, dann aber zweimal um je 1 erhöht, d. h. sie hat nach der dritten Umwandlung die anfängliche Größe, das entstandene Element ist ein Isotop zum ursprünglichen und hat ein um vier Einheiten kleineres Atomgewicht. Damit bestätigt sich auch die schon 1902 durch Rutherford und Soddy ausgesprochene Vermutung, der radioaktive Zerfall weise auf einen Zerfall des Atomkernes.

Subelektronen. Seit durch die Entdeckung des radioaktiven Zerfalls die Atome ihrer die Chemie ein volles Jahrhundert hindurch beherrschenden Rolle als einzige Bausteine der Materie beraubt sind und ihre Elektronenwelten offenbart haben, ist die Frage nicht mehr verstummt, ob denn wohl auch die Atome der Elektrizität in kleinere Teilchen zerlegbar seien, die man Subelektronen nennen könnte. In anderer Fassung heißt das: Läßt sich eine kleinere Elektrizitätsmenge als die des Elektrons beobachten oder ist diese wirklich die kleinstmögliche? Als man ernstlich daran ging, das einst als unteilbar gedachte Materieatom zu zergliedern und in seine Kleinwelt einzudringen, lag jene Frage naturgemäß in der Luft und fand ihre Bearbeiter, nämlich F. Ehrenhaft in Wien und R. A. Millikan in Chicago, die unabhängig voneinander ein geeignetes Untersuchungsverfahren ersannen, von dem man die Ermittlung von Subelektronen, falls solche überhaupt möglich sind, erwarten konnte. Nach J. S. Townsend (1898) und vor allem nach J. J. Thomson (1899) läßt sich die Durchschnittsladung der feinen Tröpfchen einer sich senkenden Nebelwolke, wie man sie in einer Nebelkammer (s. S. 69/70) herstellen kann, verhältnismäßig einfach messen. Mit einer Formel, die G. Stokes im Jahre 1851 aufgestellt hat, vermag man die Schnelligkeit zu berechnen, mit der kugelförmige Teilchen im widerstehenden Mittel durch ihre Schwere nach unten sinken. Sind geladene Teilchen gleichzeitig einem abstoßenden elektrischen Feld ausgesetzt, das sie aufwärts treibt, so gelangt man mit der „Widerstandsformel“ von Stokes, die für den Sonderfall sehr kleiner Kugeln durch Cunningham ergänzt worden ist, und mit dem geltenden Abstoßungsgesetz zu einer Beziehung, die aus dem beobachteten Bewegungszustand der Teilchen ihre Ladung zu berechnen ermöglicht. Für den besonderen Zweck muß man auf ein Verfahren verzichten, bei dem man

das elektrische Elementarquantum aus dem Zusammenwirken vieler Ladungen gewinnt, muß vielmehr, wie es Ehrenhaft getan hat, zur „Individualbeobachtung“ schreiten, d. h. die Ladung der einzelnen möglichst kleinen Probekörperchen messen. Die Metallteilchen (Gold, Silber, Platin, Quecksilber usw.) wurden aus einem Lichtbogen, der zwischen Elektroden aus den betreffenden Metallen brannte, in den Raum hinübergesaugt, in dem man sie, da ihre Größe bis zu $60 \mu\mu$ hinunterreichte, mit dem Ultramikroskop beobachtete, das zwar das Vorhandensein und die Bewegung, nicht aber die wirkliche Form der Teilchen wahrzunehmen gestattet. Das ganze Verfahren stellt gleichsam eine außerordentlich feine Waage dar, hat aber etwa die zehnmillionenfache Empfindlichkeit der besten Waage der Chemiker.

Die Ergebnisse von Ehrenhaft wichen bei fortschreitender Vervollkommnung der Versuchstechnik immer mehr von denen Millikan's ab und deuteten (1910) auf „Elektrizitätsmengen, die die Ladung des Elektrons zu unterschreiten scheinen“, ja sie ließen sogar den quantenhaften Charakter der Elektrizität überhaupt nicht mehr erkennen. Seinen Messungen stellten sich die Ergebnisse von Millikan, E. Regener (1912), A. Schidlof (1916) und anderen Physikern entgegen, die alle mit derselben Methode arbeiteten. Andererseits fand D. Konstantinowsky (1915), der Ehrenhafts Versuche wiederholte und ergänzte, Elektrizitätsmengen, welche nur $\frac{1}{200}$ der Ladung des Elektrons betragen, ja J. Parankiewicz, eine Schülerin von Ehrenhaft, kam (1917) sogar bis zu $\frac{1}{2000}$ der Elektronladung.

Wegen der weittragenden Folgen für unsere Anschauungen über den Materienaufbau, das Wesen der Elektrizität, der chemischen Kräfte usw. und wegen der zahlreichen Bedenken und Einwände, denen Ehrenhaft begegnete, hat er diese in sorgfältigster Weise geprüft und zu beheben versucht. Durch vier verschiedene Verfahren zur Bestimmung

der Teilchengröße prüfte er (1918) seine Ergebnisse und verwendete (1920) auch kleinste radioaktive Probekörperchen. Bei dieser Sachlage schien es unmöglich, anzugeben, welche Fehlerquellen die von den anderen Forschern angezweifelten Subelektronen vortäuschten. Da man die Mechanik kleinster Teilchen noch nicht vollkommen beherrscht, glaubte man da und dort, der Fehler liege im Widerstandsgesetz von Stokes-Cunningham, doch konnten K. Bär (1919) und K. Wolter (1921) das Irrige dieser Vermutung dartun. Neuerdings (April 1922) hat K. Bär in Zürich gezeigt, daß die von Ehrenhaft und seinen Schülern verwendeten Teilchen eine wesentlich kleinere Dichte besitzen als die festen Stoffe, denen sie entstammen. Ob der von Bär erneut und mit guten Gründen vertretene Satz: „es gibt in der Natur keine kleineren Elektrizitätsmengen als die Elektronenladung“ zu Recht besteht, wird die Zukunft lehren. Zunächst gilt es, für die kleinen Teilchen, wie sie die Ehrenhaft-Schule verwendet, die Ursache der Dichteminderung zu erklären. Aus Anschauungen (1917) von A. Schidlof und Targonski hat E. Regener (1920) die Annahme einer jedem der winzigen Flöckchen anhaftenden Gashaut entwickelt. Versuche von M. König (1922) haben die Wahrscheinlichkeit dieser Erklärung wesentlich erhöht; natürlich können außerdem noch andere Umstände die Dichte der flockigen Teilchen herabsetzen.

Der Urstoff? Der Gedanke an einen die ganze Körperwelt aufbauenden Urstoff reicht soweit zurück wie das Nachgrübeln über die Geschehnisse um uns. Das **W e s e n** des Urstoffs aber findet bei den einzelnen Philosophen mannigfache, nach keiner Richtung hin einheitliche Deutung. Als Dalton's Lehre ihren Einzug in die Wissenschaft gehalten hatte, die damals etwa 36 Elemente kannte, schloß der englische Arzt William Prout (1815) aus den verhältnismäßig wenigen und dazu noch recht unzuverlässigen Atomgewich-

ten, sie seien stets ganze Zahlen, demnach auch ganzzahlige Vielfache des Atomgewichts von Wasserstoff, der dadurch als Urelement, als einziger Baustoff von sämtlichen anderen Elementen erscheine. Der Gedanke lag offenbar in der Luft, finden wir ihn doch ähnlich gefaßt bald darauf (1817) auch bei J. L. G. Meinecke in Halle, dem Prout's zuerst ohne Namensnennung erschienene Arbeit anscheinend nicht bekannt war.

Wo die Atomgewichtszahlen Dezimalstellen aufwiesen, paßte die Folgerung von Prout nicht; ihr zuliebe nahm er deshalb an, jene Zahlen seien nicht genau bestimmt. Dem stand allerdings die bedenkliche Tatsache entgegen, daß namentlich beim Chlor selbst sorgfältige Atomgewichtsbestimmungen immer wieder Dezimalbrüche und keine ganzzahligen Werte lieferten. Für Gelehrte naturphilosophischer Einstellung hatte Prout's Lehre begreiflicherweise große Anziehungskraft. Die Worte (1827) von Berzelius: „Die Naturphilosophen unserer Tage würden am vorsichtigsten handeln, sich bei solchen Gegenständen zu halten, welche die Naturforscher nicht kontrollieren können“, waren nur zu berechtigt, hielten doch die Atomgewichtszahlen, die Prout ausdeutete, seinen sorgfältigen Bestimmungen nicht Stand und entzogen der Lehre den anfänglich so gesichert erscheinenden Boden. Einmal freilich trat auch das Unerwartete ein, Berzelius erwies nämlich den für Kohlenstoff als ungenau vermuteten Wert 12,2 als falsch und ersetzte ihn durch die nun sogar Prout's Grundannahme stützende genauere Zahl 12,0. Die sorgfältigsten Atomgewichtsbestimmungen von J. L. Stas vor etwa einem halben Jahrhundert und auch alle neueren schienen Prout's Lehre den Todesstoß versetzt zu haben. Aber man täuschte sich, die Lehre war noch nicht einmal dem Siechtum verfallen. Sie begann wieder aufzuleben, als man den Zerfall radioaktiver Elemente kennen lernte, und kann heute Anspruch auf Beachtung erheben,

seit man mehrere der Elemente, die der Lehre widersprechen, als Gemische von Isotopen mit ganzzahligen Atomgewichten festgestellt hat und mit der Möglichkeit von weiteren Ergebnissen im gleichen Sinne rechnen muß.

Die Frage nach dem Vorhandensein eines Urstoffs wird man heute kaum mehr ohne weiteres verneinen dürfen; sie aber im Sinne von Prout zu bejahen, ist durchaus nicht nötig. Dazu bedarf es noch einiger Worte. Wie Rydberg wohl als erster bemerkte, sind die ganzzahligen Atomgewichte entweder (nahezu) Viererzahlen, wie bei Helium, Kohlenstoff, Sauerstoff, Magnesium, Silicium, Schwefel, oder um Eins kleiner als solche, wie bei Lithium, Bor, Fluor, Natrium, Aluminium, Phosphor. Man ist leicht geneigt, hierfür wie für die häufige Ganzzahligkeit einen tieferen Grund anzunehmen; die schrittweise Veränderung jeweils um 4 (das Atomgewicht von Helium) ist ja mindestens auffällig. Geleitet von der Erinnerung an die Rolle, welche das Helium beim Atomzerfall des Radiums usw. spielt, kann man bei solcher Gesetzmäßigkeit zu dem Glauben an das Helium als Bauelement kommen und leicht geneigt sein, etwa zwei Aufbaureihen anzunehmen, deren eine vom Wasserstoff, deren andere vom Helium ausgeht; dabei wäre immer noch ein Aufbau des Heliums aus Wasserstoff denkbar. Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse ist das Helium, dessen auf $O = 16$ bezogenes Atomgewicht 4,00 beträgt, kein Isotopengemisch. Falls es im Sinne der Prout'schen Lehre aus Wasserstoff aufgebaut wäre, müßte sein Atomgewicht den vierfachen Wert wie bei diesem Gase haben, also $4 \cdot 1,008 = 4,032$ sein. Da vier Wasserstoffatome vier Elektronen besitzen, dem Helium aber seiner Ordnungszahl entsprechend deren nur zwei zukommen, müßte eine Energieminderung statthaben, wenn die Wasserstoffatome zum Heliumatom zusammengepackt werden. Diese „Packwirkung“ (wie man nach Harkins und Wilson sagt) müßte nach den

früheren Darlegungen einen Massenverlust bedeuten, könnte also vielleicht erklären, daß nicht 4,032 sondern nur 4,00 als Atomgewicht beim Helium auftritt. Die Packwirkung würde also etwa $\frac{3}{4}$ Prozent des Atomgewichtes ausmachen; diesen Betrag errechneten Harkins und Wilson als Mittelwert für die Elemente des periodischen Systems bis zum Kobalt (mit der Ordnungszahl 27). Wenn man darin ein Bestätigen der Lehre von Prout erblicken will, darf man doch nicht vergessen, daß diese nur vom Wasserstoff als Baustein aller Materie spricht, während wir auch noch das Elektron als solchen kennen. Mit diesem allein aber kommen wir — vorläufig wenigstens — nicht aus.

Einem Versuch, etwa die Energie als Urbaustoff der Elemente aufzufassen, müssen sich im Lager der Chemiker beträchtliche Schwierigkeiten entgegenstellen. Einer einfachen Annahme zuliebe ein Heer unbegreiflicher Rätsell! Wie die Dinge heute liegen, kann die Frage nach dem Aufbaustoff noch nicht beantwortet werden, wissen wir doch keineswegs, ob uns die nächsten Jahre nicht noch mit ungeahnten Zerfällungen der Elemente bekanntmachen werden. Vorläufig bestehen die Worte von Helmholtz zu Recht: „Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfungen gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme als Substanzen, bis sich später herausstellte, daß sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefaßt sein.“

Die Eigenenergie der Materie. Vor dem Eintreten der Relativitätstheorie in unser physikalisches Weltbild galt die Masse als Träger der Energie. Neben dem von Lavoisier ausgesprochenen Erhaltungsgesetz für die Masse stand das von Robert Mayer gefundene für die Energie. Was fest und

unerschütterlich schien, kam 1905 durch Einstein ins Wanken. Soweit es unsere Fragen berührt, lassen wir ihn selbst (1916) sprechen: „Das wichtigste Ergebnis allgemeiner Art, zu dem die spezielle Relativitätstheorie geführt hat, betrifft den Begriff der Masse. Die vorrelativistische Physik kennt zwei Erhaltungsgesetze von grundlegender Bedeutung, nämlich den Satz von der Erhaltung der Energie und den Satz von der Erhaltung der Masse; diese beiden Fundamentalsätze erscheinen als ganz unabhängig voneinander. Durch die Relativitätstheorie werden sie zu einem Satze verschmolzen.“ Nach Einsteins Lehre muß nämlich ein Körper durch Vergrößerung oder Verkleinerung seines Energieinhaltes eine Mehrung oder Minderung seiner Masse erfahren. Damit wird aber die Masse vom Energieinhalt abhängig, ja sie wird sogar zur „Eigenenergie“, deren Größe sich berechnen läßt. Nach der klassischen Physik soll die Masse Energie haben, nach der neueren relativistischen soll sie Energie sein. An die Stelle der bisher als allgemeingültig bewerteten Mechanik der Massen tritt eine Mechanik der reinen Energien. Der Physik (im weitesten Sinne) und der Philosophie bieten sich hierbei recht wesentliche Schwierigkeiten, darf man sich doch darüber nicht täuschen: über das Wesen der Energie wissen wir herzlich wenig (um nicht zu sagen: nichts!). Hieran zu denken ist sehr vonnöten, denn auf dem neuen Wege kommen wir schließlich zu einem völligen Zerstäuben der Materie, wenn sich diese zu einer ungeheuren Wolke von außerordentlich kleinen Energiequanten auflöst. Die Antwort ist nur hinausgeschoben, das neue Rätsel der Energie löst das alte Rätsel der Materie ab.

Bei der besonderen Rolle, welche die Ausbreitungsschnelligkeit des Lichts als Grenzgeschwindigkeit in der Relativitätstheorie spielt, regelt sie den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen unseren gewöhnlichen Einheiten für Masse und Energie, dem Gramm und dem Erg. Was wir

ein Gramm Masse nennen, stellt eine Eigenenergie von 900 Trillionen Erg dar, die nach der früheren Umrechnung (s. S. 88) 25 Millionen Kilowattstunden sind. Das ist eine Energiemenge, mit der man über 100 000 fünfzigkerzige Halbwattlampen ein ganzes Jahr ohne jegliche Unterbrechung speisen könnte, wenn es möglich wäre, die innere Energie der Atome freizumachen, d. h. die Materie in Energiequanten zu zerstäuben. Daß es (1920) einem gerissenen Scheinforscher viele Monate hindurch gelang, der Öffentlichkeit eine auf solche Energiegewinnung abzielende Erfindung vorzutäuschen, ist ein beschämendes Zeichen für die Leichtgläubigkeit und den Mangel an wissenschaftlicher Denkschärfe in gebildeten Kreisen. Alle uns zu Gebote stehenden Möglichkeiten, auf den Energieinhalt eines Körpers einzuwirken, genügen nicht im entferntesten, um in seiner trägen Masse irgendwelche bemerkbare Veränderung hervorzurufen. Hierin liegt der tiefere Grund für die Unmöglichkeit jener Erfindung; darin ist aber auch die für die Geschichte der Physik wichtige Tatsache begründet, daß man mit Erfolg zu einem durchaus selbständigen Satz von der Erhaltung der Masse kommen konnte, ohne dabei auch nur irgendwelchen Zusammenhang mit dem (ebenfalls selbständig ausgesprochenen) Energiegesetz zu sehen oder zu ahnen.

Das gewaltigste — aber ohne unser Zutun erfolgende — Freiwerden von Energiemengen begegnet uns beim Atomzerfall der strahlenden Stoffe. Die von einem Gramm Radium während seiner Halbwertszeit abgegebene Energiemenge verschwindet aber doch gegenüber derjenigen, die dem Gramm Radium allein durch seine Masse eigen ist.

Der Entwicklungsgedanke in der Chemie der Elemente. Die Entdeckung des Atomzerfalls hat unsere früheren Vorstellungen vom Aufbau und der Natur der Materie grund-

sätzlich umgeprägt. Lehren und Ansichten, die wie Felsen unerschütterlich gegründet schienen, sind ins Wanken gekommen, ja schließlich gestürzt und in Trümmer zerfallen. Wie aber beim Berggrutsch neues Gestein an den Tag tritt, das beständiger ist als das niedergegangene, zeigen sich auch in den neuesten Auffassungen der Materie Grundgedanken, die uns gesicherter anmuten als ihre Vorläufer, weil sich uns Zusammenhänge erschlossen haben, die man vorher nicht ahnen konnte. Von der nur scheinbaren Ähnlichkeit zwischen dem Mikrokosmos der Atome und dem Makrokosmos der Sonnen war schon wiederholt die Rede; daneben verlohnt sich ein Blick auf das Gedankenband zwischen der anorganischen und organischen Naturwissenschaft.

Die ältere chemische Systematik, die uns in allen Lehrbüchern entgegentritt, läßt sich recht wohl mit dem System von Linné vergleichen, das nach der Absicht seines Urhebers gestatten soll, Tiere oder Pflanzen, die einmal ausreichend beschrieben sind, jederzeit wiederzuerkennen und neuentdeckte zweckentsprechend einzugliedern. Dem Gedanken an ein Zusammenhängen aller Lebewesen, wie er Kant, Goethe und anderen vorschwebte, tritt Prout's Glaube an ein chemisches Urelement zur Seite. Schon bei den Alchemisten — wenn auch unklar —, dann bei Prout und anderen bildet sich der von Lamarck für die belebte Natur ausgesprochene Zweifel an der Unveränderlichkeit der Arten. Wie Lamarck bei den zeitgenössischen Biologen, fanden auch die ungeheuerlich anmutenden Gedanken über zerfallende, veränderliche Atome nur sehr schwer Anklang bei den mit ihrem System erstarkten Chemikern, denen sich heute an Stelle der gewohnten Strukturchemie des Moleküls eine Strukturchemie des Atoms zudrängt. Neben dem Werden und Vergehen in der belebten Natur sehen wir heute ein fortwährendes Bilden und Zerfallen in der unbelebten Stoffwelt. Wie Darwin das Gewordene aus dem Werdenden er-

klärt wissen will und deshalb der Entwicklung und ihren Gesetzen nachgeht, kann die heutige Chemie unsere buntmannigfaltige Stoffwelt nur durch die Annahme einer allmählichen Umbildung aus einer untergegangenen und untergehenden Stoffwelt erklären. Damit enthüllt sich, wie in den biologischen Wissenschaften für die Lebewesen, hier eine Abstammungslehre für die Elemente. Wie die zahllosen Arten der Lebewesen sind auch die Elemente der Chemie nichts Festgebildetes, nichts Bleibendes. Dauernd sind die ändernden und umbildenden Kräfte am Werk und lassen sich — bald mehr, bald weniger gut — von uns beobachten. Seit wir den Atomzerfall kennen, herrscht die Entwicklungslehre im gesamten Gebiet der gegenwärtigen Naturwissenschaft, das urewige πάντα ἔει des Heraklit.

Die Transmutation der Elemente. Der Atomzerfall, wie er uns beim Radium erstmals begegnete, erinnert an den Molekülzerfall eines Sprengstoffes. Wie sich hier unter gewaltiger Energieabgabe andersartige Moleküle bilden, entstehen beim radioaktiven Element andersartige Atome. Ein wesentlicher Unterschied zeigt sich uns, wenn wir auf die Einwirkung durch menschliche Willkür achten. Wir können den Sprengstoff aus seinen Bestandteilen aufbauen, können ihn unverändert aufbewahren und ihn erst zerfallen lassen, wenn wir wollen. Dies alles ist beim radioaktiven Element unmöglich, unserer Willkür (wenigstens vorläufig) vollkommen entrückt. Wir können das Element weder aus einem Urstoff schaffen, noch das Blei zu Radium aufbauen. Es steht auch nicht in unserem Belieben, den Zerfall (etwa des Radiums zu Blei) einzuleiten, zu beschleunigen oder zu hemmen.

Im Atomzerfall sieht heute mancher eine Lösung des Problems, mit dem sich die Goldkötche von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage beschäftigten, die Möglichkeit einer

„Transmutation der Elemente“, der erträumten Umwandlung von Elementen zu edleren, wertvolleren. Da der Atomzerfall aber gerade den entgegengesetzten Weg durchläuft und uns — wenigstens einstweilen — jede Möglichkeit fehlt, seine Richtung umzukehren, hält die heutige Chemie, die „veränderliche Elemente“ kennt, an dem Glauben fest, der Alchemistentraum werde niemals in Erfüllung gehen. Unsere Zeit, die aus mannigfachen Gründen das unkrautartige Emporwuchern okkultur Denkeinstellungen begünstigt, hat auch das Wiederaufleben der Alchemie gebracht, deren Jünger ihr Ziel im Sinne indischer Geheimlehren mit unklaren Redensarten verfolgen. Trotzdem diese modernsten Alchemisten von ihrer einzigen unbelehrbaren Einstellung aus mit erstaunlicher Schnelligkeit und Oberflächlichkeit die Errungenschaften und Erkenntnisse der wissenschaftlichen Chemie herabwerten, verachten und selbst leugnen, lassen sie die Forschungsergebnisse über den Atomzerfall gelten und sehen hier die Erfüllung des Sehnsuchtstraums der Goldköche vergangener Zeiten. Wer wahrhaft historisch zu denken vermag und unbefangen zusieht, weiß, wie der Alchemistenglauben früherer und heutiger Zeiten einzuschätzen ist, auch vom Standpunkt unserer augenblicklichen Kenntnis vom Aufbau der Materie.

Anmerkungen.

1. Zu S. 15. Warmheit.

Die Bezeichnung „Warmheit“ statt Temperatur oder Wärmegrad hat H. von Helmholtz geschaffen.

2. Zu S. 17. Zahlen in der Atomwelt.

Trotzdem uns Krieg und Schuldenlasten an Riesenzahlen gewöhnt haben, sind diese vielfach selbst Gebildeten nicht geläufig, weshalb eine kurze Erklärung nicht überflüssig erscheint. Tausend Millionen nennen wir eine Milliarde (1 000 000 000). Eine Billion (1 000 000 000 000) hat eine Million Millionen oder tausend Milliarden. Eine Trillion (1 000 000 000 000 000) umfaßt eine Million Billionen oder eine Billion Millionen oder eine Milliarde Milliarden. Seit Christi Geburt sind etwa erst 606 Milliarden (oder 0,6 Billionen) Sekunden verstrichen. Ein Kubikkilometer enthält eine Trillion Kubikmillimeter. Der Erdumfang beträgt rund 40 Milliarden Millimeter. Was die Franzosen eine Billion heißen, nennen wir eine Milliarde. Was wir unter einer Billion verstehen, führt bei ihnen den Namen Trillion. Daher nennen sie unsere Trillion ganz folgerichtig eine Million Trillionen.

3. Zu S. 19. Bezugzahl für Atomgewichte.

Die völlige Willkürlichkeit der Bezugzahl muß beachtet werden. Wollaston wählte für den Sauerstoff die Bezugzahl 10, Berzelius dagegen 100. Die Atomgewichtszahlen von Berzelius waren dadurch zehnmal so groß als die entsprechenden Zahlen von Wollaston.

4. Zu S. 19. Neue Atomgewichtstafeln.

In den Jahren 1915 und 1916 erschienen noch die üblichen Tabellen, dann aber nur noch „Entente-Atomgewichte“. Die der Förderung chemischen Forschens dienenden deutschen Gesellschaften haben deshalb eine besondere Atomgewichtskommission gebildet, die erstmals im September 1921 ihr Arbeitsergebnis veröffentlicht hat, dessen Zahlenwerte in dieser Schrift ausschließlich Verwendung fanden.

5. Zu S. 30. Gewöhnliches und polarisiertes Licht.

Ein Strahl des gewöhnlichen (natürlichen) Lichts zeigt nach allen zu ihm senkrechten Richtungen hin die gleichen Eigen-

schaften, er besitzt keine „Seitlichkeit“. Die Ätherschwingungen erfolgen senkrecht zur Strahlrichtung in allen diese enthaltenden Ebenen. Fällt der Lichtstrahl unter einem Winkel von 55 Grad auf Glas, so besitzt er nach der Spiegelung „Seitlichkeit“, er ist, wie man sagt, polarisiert. Die Schwingungen erfolgen jetzt nur noch in einer festen Ebene, welche die Strahlrichtung enthält. Diejenige ebenfalls die Strahlrichtung enthaltende Ebene, zu welcher die Schwingungen senkrecht verlaufen, wird Polarisations-ebene genannt.

6 Zu S. 30. Drehung der Polarisations-ebene.

Wenn ein einfarbiger polarisierter Lichtstrahl eine mit etwas Harzlösung schwach getrübe Wassersäule in einem Glasrohr durchsetzt, sieht man die hell leuchtende Schwingungsebene. Fügt man Zucker hinzu, so zeigt diese auf dem Wege des Strahls eine allmähliche Drehung, die mit wachsender Zuckermenge zunimmt. Der Drehsinn (nach rechts oder links) der entstehenden Schraubenfläche hängt von der verwendeten Zuckersorte ab. Durchsetzt der polarisierte Lichtstrahl die Lösung von gewöhnlichem Zucker von oben nach unten, so ähnelt die Schraubenfläche einer rechtsherum aufsteigenden Wendeltreppe (bei der man im Aufsteigen die Treppennachse auf der rechten Seite hat): gewöhnlicher Zucker ist „rechtsdrehend“. Eine Zuckerlösung, die ein Gramm Zucker auf hundert Gramm Wasser enthält, dreht die Polarisations-ebene auf je fünfzehn Zentimeter Länge um einen Grad.

7. Zu S. 33. Razemische Formen.

Die nichtdrehenden Verbindungen, die als Gemisch oder als lose Verbindung von verschiedendrehenden Formen zu deuten sind, pflegt man in der Chemie als „razemische“ Formen zu bezeichnen. Namensgebend war — wegen der grundlegenden Untersuchungen von Pasteur — die Traubensäure, die „acide racémique“ heißt (racème = Blüentraube).

8. Zu S. 34. Biochemisches Trennungsverfahren.

Diesem für die Forschung wertvollen (wenn auch rätselhaften) Arbeitsverfahren haftet der Mangel an, daß die eine der aktiven Formen zerstört wird.

9. Zu S. 34. Bakterien und stereoisomere Verbindungen.

Die in einigen Pflanzen vorkommende Fumarsäure, die die Formel $\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ besitzt, ist zur Maläinsäure stereoisomer. Die erste Form kann dem Pinselschimmel als Nahrung dienen, die zweite aber wirkt nahezu vergiftend auf ihn ein.

10. Zu S. 44. Molekülbewegung und Formart.

Leider läßt sich nicht ganz kurz sagen, warum bei bestimmter Druck- und Warmheitsgrenze ein pltztlicher Wechsel im Bewegungszustand der Moleküle (Gas \rightarrow Flüssigkeit \rightarrow fester Körper) erfolgt. Wer dieser Frage nachgehen will, muß zu ausführlicheren Physikbchern greifen, wie sie auf S. 121 genannt sind.

11. Zu S. 45. Feste Lösungen.

„Feste Lösung“ ist nicht etwa, wie man meinen könnte, festgewordene, erstarrte Lösung (etwa gefrorenes Salzwasser); es handelt sich vielmehr um die Auflösung eines festen Körpers in einem anderen, ohne daß auch nur einer der beiden flüssig zu zu werden braucht. Zu den festen Lösungen gehören vor allem die Legierungen der Metalle, ferner Schlacken, Laven, Gläser usw.

12. Zu S. 46. Formel des Harnstoffs.

Da die Aufbauformel des Harnstoffs $\begin{array}{l} \text{NH}_2 \\ \diagdown \text{C}=\text{O} \\ \diagup \text{NH}_2 \end{array}$ ist, verwendet

der Chemiker lieber die Schreibweise $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, statt der von uns gebrauchten einfacheren CON_2H_4 .

13. Zu S. 48. Geschichtliche Abhängigkeit.

Es kommt aber noch etwas anderes hinzu: Dem Menschen widerstrebt es, Gegensätze zweier Eigenschaften rein größenmäßig zu erklären, etwa durch ein Mehr oder Minder gegenüber einer unwirksamen Menge; er ist deshalb leichter geneigt, solche Gegensätze aus der Annahme von gegensinnigen Kräften oder Stoffen zu deuten. Daher macht es z. B. bei der Einführung in die Physik Schwierigkeiten, an die Vorstellung zu gewöhnen, daß Wärme und Kälte nicht gegensätzlich verschieden sind, daß vielmehr auch der kalte Körper warm ist.

14. Zu S. 51. Ionenbegriff.

Die Bedeutung der Ionen reicht weit über das Gebiet der Physik und Chemie hinaus. In der lebenden Zelle begegnet man immer wieder den verschiedenartigsten Ionenwirkungen, deren unbedingte Notwendigkeit für den Lebensvorgang heute feststeht.

15. Zu S. 54. Beugung des Lichts.

Blickt man durch den Spalt zweier dicht aneinandergelegter runder Bleistifte, die man gleichgerichtet zu einem Glhlampenfaden hält, aus größerer Entfernung nach diesem, so sieht man ihn verbreitert und in farbige Bilder übergehend; Zusammendrücken der Stifte verbreitert das Fadenbild und ändert die Farbsäume.

Man kann bei dieser Beugungserscheinung ein wenig „die Ecke sehen“, wie man ja auch um die Ecke hören kann. In beiden Fällen handelt es sich um eine nur aus der Wellenlehre für Licht und Schall erklärbare Beugung.

16. Zu S. 57. Hauptfarben im Spektrum.

Newton teilte die über das Violett hinaus auf die doppelte Größe gebrachte Länge des Spektrums derart ein, daß die Stücke den Saitenlängen für die Töne der Molltonleiter entsprechen, und kam damit zu der höchst erkünstelten Einteilung des Spektrums in sieben Farben. Näheres mit Figur gibt A. Kistner. Geschichte der Physik (1919; 2. Aufl.), Bd. 1, S. 116.

17. Zu S. 68. Röntgenröhre.

Hier genügt der Hinweis auf die einfachste Röntgenröhre; die heutigen gasfreien Glühkathodenröhren, wie sie durch Arbeiten von Wehnelt, Lilienfeld, Coolidge, Langmuir, Siegbahn usw. geschaffen wurden, haben nur für den Fachmann Bedeutung.

18. Zu S. 68. Leuchtschirm für Röntgenstrahlen.

Das früher für Leuchtschirme meist verwendete Bariumplatinocyanür gibt zwar die hellsten Lichter, verliert aber diese Eigenschaften durch Gebrauch und Wärme. Villemitt (kieselsaures Zink) ist frei von diesen Mängeln und übertrifft die frühere Schirmmasse erheblich.

19. Zu S. 71. Zerlegung der Radiumstrahlung.

Die Abbildung 15 ist so zu verstehen, daß die Kapsel, die das strahlende Radium enthält, zwischen zwei Polen eines kräftigen Magneten steht. Den Nordpol denke man sich vor, den Südpol hinter dem Papierblatt, das die Zeichnung trägt.

20. Zu S. 85. Ein neues Element?

Während der Drucklegung des Buches wird bekannt, daß Ende Januar 1923 durch den in Kopenhagen weilenden Ungarn Hevesy in Gemeinschaft mit Coster bei der Röntgenuntersuchung grönländischer Mineralien das zwischen Lanthan und Tantal fehlende Element mit der Ordnungszahl 72, eine „seltene Erde“, entdeckt worden sei. Wenn dies zutrifft, schließt die Entdeckung des Hafnium (diesen Namen erhielt das Element zu Ehren von Kopenhagen) eine Systemlücke, leider keine der wichtigsten.

21. Zu S. 91. Drittes Gesetz von Kepler.

Im dritten Keplerschen Gesetz ist die Tatsache enthalten, daß die (mittleren) Geschwindigkeiten zweier Planeten das umgekehrte

Zahlenverhältnis aufweisen, wie die Quadratwurzeln aus den (mittleren) Abständen der Planeten von der Sonne.

22. Zu S. 93. Erstes und zweites Gesetz von Kepler.

Was hier — der allgemein üblichen, falschen Zählung folgend — als das erste Gesetz bezeichnet wird, ist in Wirklichkeit das zweite. Den in der Regel als zweites Keplersches Gesetz gezählten Flächensatz, der eigentlich besagt, daß die Geschwindigkeiten eines Planeten in zwei Bahnpunkten sich umgekehrt verhalten wie die (senkrechten) Abstände der Sonne von den jeweiligen Bahnrichtungen, hat Kepler zuerst entdeckt, lange bevor er die wahre geometrische Form der Planetenbahnen gefunden hatte.

23. Zu S. 93. Ellipse.

Ein Gärtner, der einem Beet die Gestalt einer Ellipse geben will, befestigt eine lockere Schnur mit ihren Enden an zwei im Boden steckenden Pflöcken und hält die Schnur durch ein zugespitztes Holzstück gespannt; indem er dieses (bei stets gespannter Schnur) über den Boden fortbewegt, ritzt er in dem Erdreich die Ellipse ein. Die beiden Pflöcke bilden die sog. Brennpunkte der Ellipse. Als Sonderfall der Ellipse entsteht der Kreis, wenn die beiden Brennpunkte in einen Punkt zusammengedrückt sind, d. h. wenn beide Schnurenden an einem Pflöck befestigt sind. Beim Kreis fallen also die beiden Brennpunkte mit dem Mittelpunkt zusammen. Ellipsen werden „konfokal“ genannt, wenn sie mindestens einen Brennpunkt gemeinsam haben.

24. Zu S. 94. Raumkurve.

Jede krumme Linie (Kurve), die sich nicht auf einer Ebene zeichnen läßt, heißt man Raumkurve oder räumliche Kurve. Hierher gehört z. B. die Schraubenlinie. Das Bild eines Wendeltreppengeländers (d. h. einer Schraubenlinie) ist eine ebene Kurve; das Gelände selbst bildet in Wirklichkeit eine Raumkurve.

25. Zu S. 96. „Gesetz“ oder „Zufall“?

Es erscheint nicht überflüssig, einige Bedenken hier anzugeben. Zunächst steht die erste (wagrechte) Zeile vereinzelt, während die nächsten doppelt auftreten. Die siebente Zeile muß eigentlich, wie die sechste, 32 Elemente enthalten, dann bekämen aber Protactinium und Uran die Ordnungszahlen 105 und 106 und würden sich dem gut bestätigten Gesetz von Moseley nicht einfügen, was sie doch mit den Werten 91 und 92 tun. Was soll man aber von einem „Gesetz“ halten, das mit einer Ausnahme beginnt und mit einer Ausnahme endigt?

Schriften zur Weiterführung des Lesers.

Wer sich mit unserem Gegenstand eingehender beschäftigen will, tut gut daran, zuerst seine physikalischen und chemischen Kenntnisse aufzufrischen oder zu ergänzen, wozu sich vornehmlich die im Unterricht an den höheren Lehranstalten bewährten Bücher eignen. Für die Physik wählt man etwa das elementare „Lehrbuch der Experimentalphysik“ von **W. Doole** (11. Aufl. Leipzig 1921) oder das von Studenten gern benutzte „Lehrbuch der Experimentalphysik“ von **E. v. Lommel** (26. Aufl. Leipzig 1920). Mehr zur Weiterbildung als zur Einführung dient das vortreffliche zweibändige „Lehrbuch der Physik“ von **E. Grimsehl** (3. Aufl. Leipzig 1920/21). Von hier aus kann man sich an den Band „Physik“ (Leipzig 1915) wagen, den **E. Warburg** in der Sammlung „Die Kultur der Gegenwart“ herausgegeben hat.

Zur Einführung in die Grundfragen der Chemie eignet sich (auch wenn man die methodische Einstellung des Verfassers nicht teilt) das Bändchen Nr. 84 der Sammlung Göschen: **A. Benrath**, Chemische Grundbegriffe (1921); es gibt eine meist dem geschichtlichen Werden folgende und die gedanklichen Schwierigkeiten aufzeigende Darstellung der von uns nur kurz gestreiften Grundbegriffe der allgemeinen Chemie, ohne wesentlich mehr vorauszusetzen, als unsere Schrift. Eine stärkere Beschränkung auf die eigentlichen chemischen Tatsachen zeigt das Bändchen Nr. 582 der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“: **B. Bavink**, Einführung in die allgemeine Chemie (2. Aufl. 1919). In das Riesengebiet der spezielleren Chemie leitet die vorzügliche „Einführung in die Chemie in leichtfaßlicher Form“ (6. Aufl.; Leipzig 1921) von **Lassar-Cohn**. Was hier geboten wird, reicht eigentlich aus, um unseren Gegenstand vollkommen verstehen zu können. Wer tiefer eindringen will, wähle etwa **A. Smith**, Einführung in die allgemeine und anorganische Chemie auf elementarer Grundlage (5. Auflage der deutschen Bearbeitung, Karlsruhe 1922), ein Buch (729 S.), das gründliches chemisches Wissen vermitteln kann.

Wer das Bild der theoretischen Physik im Lichte der neuesten Forschungsergebnisse sehen will, hat die Wahl zwischen einigen gediegenen Veröffentlichungen, aus denen sich die gutverständliche Schrift (114 Seiten) von **A. Haas**, *Das Naturbild der neuen Physik* (Berlin 1920) deutlich heraushebt. Wesentlich kürzer und daher schwieriger zu verstehen ist der Vortrag von **M. von Laue**, *Das physikalische Weltbild* (Karlsruhe 1921).

Quantenlehre, Relativitätstheorie, Röntgeninterferenzen usw., die man kennen muß, um die Ansichten über den Feinbau der Materie richtig würdigen zu können, lassen sich in den genannten Schriften nur oberflächlich behandeln und machen das Durcharbeiten von Sonderveröffentlichungen nötig.

Der Nichtfachmann, dem wenigstens einige mathematische und physikalische Kenntnisse eigen sind, findet in der 231 Seiten umfassenden Schrift (Berlin 1921) von **F. Reiche**, *Die Quantentheorie, ihr Ursprung und ihre Entwicklung*, eine klare und umfassende Darstellung der mannigfachen Zusammenhänge und des augenblicklichen Standes der Probleme. Bei **W. Gerlach**, *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie* (Braunschweig 1922) ist das Thema auf 143 Seiten mit beachtenswerter Vollständigkeit sehr anschaulich und überzeugend behandelt.

Die Relativitätstheorie, deren Einwirkungen auch bei unserem Gegenstand zu verspüren waren, hat eine Unmasse „populärer“ (im schlimmsten Sinne!) Schriften gezeitigt, ja sogar einen „Einstein-Film“. Ergebnis: „Man kann mitreden“. Zum Mitdenken leiten nur wenige Schriften, am besten natürlich Einsteins Arbeiten selbst, vor allem seine erstmals 1917 erschienene, heute bereits zum dreizehnten Male aufgelegte Schrift: „Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie“ (Braunschweig 1922); der mathematisch nichtgeschulte Leser wird freilich etwas erstaunt sein, daß **Einstein** seine Arbeit ausdrücklich als „gemeinverständlich“ bezeichnet. Recht zu empfehlen ist auch das Durcharbeiten von **A. Einstein**, *Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie*, gehalten im Mai 1921 an der Universität Princeton (Braunschweig 1922). Wer sich in der Welt der relativistischen Physik noch ganz fremd fühlt, wähle als erste wissenschaftliche Führer zunächst **M. Born**, *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre*

physikalischen Grundlagen (2. Auflage; Berlin 1921) sowie **M. Schlick**, Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik (3. Auflage; Berlin 1920). Bei bescheidensten Voraussetzungen oder als allererste Einführung kann man die 95 Seiten umfassende Schrift von **P. Kirchberger**, Was kann man ohne Mathematik von der Relativitätslehre verstehen? (3. Auflage; Karlsruhe 1922) verwenden, muß aber dann entschieden zu einem der strengwissenschaftlichen Werke, schließlich zu Einstein selbst übergehen, wenn man sich ein eigenes Urteil bilden will. Jeder, der diesem Ziele zustrebt, also auch der Fachmann, sollte sich einmal mit der kritischen Abhandlung von **A. v. Weinberg**, Die Grenzen der Relativität (Frankfurt a. M. 1922) beschäftigen, die sich gegen die überschwenglichen Lobredner der Relativitätstheorie wendet und bei völligem Verzicht auf mathematische und erkenntnistheoretische Ausführungen die Lehre ganz nüchtern betrachtet. Für unseren Gegenstand ist namentlich der Teil von Wichtigkeit, der die „Energie der Masse“ beleuchtet und die Grundgleichung ($e = m \cdot c^2$) als „unbewiesene Voraussetzung“ dartut.

Über die Bedeutung der Röntgenspektren für die Forschung unterrichten „Die Naturwissenschaften“ in ihrem Sonderheft „Zehn Jahre Laue-Diagramm“ (Heft 16 des Jahrgangs 1922) und setzen nur bei einem Teil der Abhandlungen eingehendere Fachkenntnisse voraus. Recht ansprechend und auch für Laien verständlich ist der kaum einen Druckbogen umfassende Nobel-Vortrag von **M. v. Laue**, Über die Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen (Karlsruhe 1920). Weitere Schriften werden später genannt; hier mögen zunächst diejenigen folgen, welche chemische Grundfragen aus unserem Gebiete behandeln.

Das 360 Seiten starke Buch von **W. Bein**, Das chemische Element, seine Wandlung und sein Bau, als Ergebnis der wissenschaftlichen Forschung (Berlin 1920) vermittelt nicht allein Forschungsergebnisse, sondern zeigt auch, wie sie gefunden und begründet wurden; brauchbare Literaturangaben helfen allerorts bestens weiter. Eine auch für den Laien nützliche Erörterung der Ansichten über „Die Hypothese von Prout über das Urelement“ gibt **E. Lemberg** im 27. Bande (1922) der „Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe“ (S. 67—83). Über die strahlenden

Elemente, ihre Umwandlungen usw. holt man sich am besten Aufschluß in dem klar geschriebenen und nicht zu umfangreichen Buche: **K. Fajans**, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen (4. Auflage; Braunschweig 1922).

Wenn wir zu den Schriften übergehen, die zur vorliegenden als eigentliche Ergänzungen oder Erweiterungen gelten können, müssen wir an erster Stelle die als „Einführung in das Substanzproblem“ gedachten zwei Bände von **R. Winderlich**, Das Ding (Karlsruhe 1923) nennen, die unserer Sammlung „Wissen und Wirken“ zugehören. Zur Weiterführung der Leser eignet sich trefflich das in zweiter Auflage erschienene Buch: **M. Born**, Der Aufbau der Materie (Berlin 1922), nach dessen Studium man zu dem 583 Seiten starken, sehr umfassenden Werke **A. Sommerfeld**, Atombau und Spektrallinien (Braunschweig 1921) greifen kann, wenn man gute physikalische Kenntnisse besitzt. Wo solche nur in geringerem Maße vorhanden sind, muß man unter einfacheren Schriften auswählen. Der 130 Seiten umfassende „Grundriß der neueren Atomistik“ (Leipzig 1922) von **B. Bavink** ist zwar wenig übersichtlich gegliedert, erlaubt aber durch die in einem Anhang untergebrachte elementare Ableitung einiger wichtiger mathematischer Formulierungen ein erstes Vertrautwerden mit exakten Ausführungen über unseren Gegenstand. Mit der Absicht, möglichst gemeinverständlich zu sein, drängt **F. Auerbach**, Das Wesen der Materie (147 Seiten; Leipzig 1918) sehr oft mehr nach der Breite als nach der Tiefe und enttäuscht daher leicht einen mit dem Wesen wissenschaftlichen Denkens vertrauten Leser. Die gut ausgestattete und schon mehrfach aufgelegte Schrift von **L. Grätz**, Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung (Stuttgart 1922) scheidet leider nicht scharf zwischen wirklichen Versuchsergebnissen und mehr oder minder erprobten Annahmen, ist daher mit einiger Vorsicht zu benützen.

Von Sonderschriften ist neben der ziemlich umfangreichen (263 S.) von **R. A. Millikan**, Das Elektron, Seine Isolierung und Messung. Bestimmung einiger seiner Eigenschaften (übersetzt von K. Stöckl; Braunschweig 1922) die nur 35 Seiten umfassende „Die Kernstruktur der Atome“ zu nennen, in der **E. Rutherford** über seine eigenen Arbeiten berichtet (Deutsche Ausgabe; Leipzig 1921). Mitten hin-

ein in die augenblickliche Forschung versetzt **W. Kossel**, Valenzkräfte und Röntgenspektren (Berlin 1921) seine Leser; es handelt sich (70 S.) um zwei gut verständliche, wissenschaftliche Aufsätze über das Elektronengebäude des Atoms.

Leser, die mit kristallographischen Kenntnissen wohl ausgestattet sind — aber nur solche; Neugierige seien gewarnt! — finden eine vorzügliche, mit 203 Figuren versehene Darstellung der mit Röntgenstrahlinterferenzen gewonnenen Erkenntnisse des Kristallfeinbaus in dem schon zum dritten Male aufgelegten Buche: **F. Rinne**, Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle (Berlin 1922).

Wer verstehen will, wie die atomistischen Grundgedanken sich gestaltet haben und wie man sich mit den erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten auseinandergesetzt hat, findet auch heute noch den besten Aufschluß in dem schon vor einem Menschenalter erschienenen zweibändigen Werke: **K. Laßwitz**, Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton (Hamburg 1890). Das 312 Seiten starke Buch: **E. Färber**, Die geschichtliche Entwicklung der Chemie (Berlin 1921) fesselt namentlich durch die historische Betrachtung des chemischen Erkennens, durch das Herausarbeiten der philosophischen Grundfragen und läßt vergessen, daß gelegentliche Ungenauigkeiten vorhanden sind, welche die Chemiegeschichte längst abgeschüttelt hat. Die Richtlinien in der Entwicklung der allgemeinen chemischen Ansichten zeigen die nur 142 Seiten umfassende „Grundzüge der Geschichte der Chemie“ von **W. Herz** (Stuttgart 1916). Kenner der Chemie finden für Isomerie, Raumformeln usw. sehr gute Ausführungen in dem 556 Seiten starken Buche: **E. Hjelt**, Geschichte der organischen Chemie von ältester Zeit bis zur Gegenwart (Braunschweig 1916). Ein Verfolgen der physikalischen Lehren bis in die Gegenwart gibt nur die „Geschichte der Physik“, die der Verfasser vorliegenden Buches in der Sammlung Göschen veröffentlicht hat (2. Auflage; 1919); der erste Band reicht bis Newton, der zweite bis zur Gegenwart.

Verzeichnis der Abschnitte.

	Seite
Einführung	1
Die Materie	3
Das Problem der Masse	4
Die Elemente	8
Gewichtsverhältnisse bei Verbindungen	10
Das Werden der Atomlehre	12
Atom und Molekül	15
Atomgewicht und Molekulargewicht	18
Atombuchstabe und Molekülformel	20
Die Wertigkeit der Atome	21
Die Aufbauformel des Moleküls	23
Isomere und polymere Moleküle	26
Räumliche Anordnung der Atome im Molekül	30
Das Raumbild der Moleküle in der Stereochemie	31
Raumisomere Moleküle	33
Ungelöste Rätsel der Molekül-Raumbilder	35
Gesetzmäßigkeiten in den Atomgewichten	36
Errechnete Elemente	38
Wärme und Molekularbewegung	40
Molekularbewegung und Formart	41
Größe und Masse der Moleküle und Atome	44
Moleküle in Lösungen	45
Molekülstöße auf Schwebeteilchen (Brown'sche Bewegung)	46
Weitere Beweise für die Bewegung der Moleküle	47
Zwei Elektrizitäten	48
Elektrische Zerlegung des Moleküls	50
Das Elektrizitätsatom	51
Das Spektrum	53
Das Atomspektrum	55
Der Lichtakkord des Atoms	56
Elektrische Entladungen in verdünnten Gasen	60
Die Natur der Kathodenstrahlen	63
Kanalstrahlen	67
Röntgenstrahlen	67

	Seite
Ionisierung der Luft	69
Das Radium	70
Die Strahlen des Radiums	70
Positive Elektrizitätsatome	72
Die Scheinmasse des Elektrons	72
Der Zerfall des Radiumatoms	74
Halbwertszeit und Lebensdauer der Atome	75
Die Zerfallsreihen	75
Isotope Elemente	76
„Elemente“ als Isotopengemische	77
Raumgitter der Moleküle	79
Röntgenlichtbeugung an Raumgittern	81
Die Atomserien im Röntgenspektrum	83
Das Gesetz für die Ordnungszahlen der Atome	84
Atomisierung der Energie	86
Die Quantenlehre	87
Das Atommodell	89
Die Bedeutung der Ordnungszahl im Atomweltsystem	90
Die Bahnen von Planeten und Elektronen	91
Elliptische Elektronenbahnen	93
Nochmals das periodische System	95
Die Elektronenschalen	96
Atombau und Valenz	97
Innere und äußere Atomelektronen	100
Die Beschaffenheit des Kerns	101
Das Zerschließen des Stickstoffatoms	101
Die Verschiebungsgesetze für den Atomzerfall	103
Subelektronen	105
Der Urstoff?	107
Die Eigenenergie der Materie	110
Der Entwicklungsgedanke in der Chemie der Elemente	112
Die Transmutation der Elemente	114
Anmerkungen	116
Schriften zur Weiterführung des Lesers	121
Verzeichnis der Abschnitte	126
Verzeichnis der Namen	128
Tafel 1. Die chemischen Elemente	} am Schluß.
Tafel 2. Das periodische System I	
Tafel 3. Das periodische System II	

Verzeichnis der Namen.

Ampère (1775—1836)	86	Clausius (1822—88)	40, 41
Aristoteles (384—322 v. Chr.)	3, 8	Cleve (1840—1905)	39
Aston, F. W.	78	Coolidge	119
Auerbach (geb. 1856)	124	Cornu (1841—1902)	57
Avogadro (1776—1856) 16, 17, 18, 19, 20, 42, 43, 46		Coster	119
Bacon v. Verulam (1561—1626)	13	Coulomb (1736—1806)	89
Balmer (gest. 1898)	57, 59	Couper, A. S. (1831—92)	23
Bär, K.	107	Crookes (1832—1919) 62, 63, 71	
Barkla (geb. 1877)	69	Cunningham	105, 106, 107
Bavink	121, 124	Curie, J. (1859—1906)	70
Becquerel, H. (1852—1908)	70	Curie, M. (geb. 1867) 70, 74, 75, 76	
Bein (geb. 1869)	123	Dalton, J. (1766—1844) 12, 15, 107	
Benrath (geb. 1878)	121	Darwin, Ch. (1809—82)	113
Bernoulli, D. (1700—82)	41	Davy, H. (1778—1829)	9
Berzelius (1779—1848) 20, 97, 108, 116		Debye, P. (geb. 1864)	82
Bessel (1784—1846)	7	Demokrit (460—370 v. Chr.) 12, 13	
Billman (geb. 1873)	36	Döbereiner (1780—1849) 36, 38	
Biot (1774—1862)	30	Donle (geb. 1862)	121
Bodaszewski	47	Du Bois-Reymond (1818—96) 2	
Bohr, N. (geb. 1885) 89, 92, 93		Ehrenhaft (geb. 1879) 105, 106, 107	
Boltzmann (1844—1906)	41	Einstein (geb. 1879) 6, 111, 122, 123	
Born (geb. 1882)	122, 124	Elster (1854—1920)	71
Boscovich (1711—87)	14, 15	Empedokles (492—432 v. Chr.) 8	
Boyle (1626—91) 9, 10, 13, 15, 16		Epikur (341—270 v. Chr.)	13
Bragg, W. H. (geb. 1863)	82	Erlenmeyer, E. jun. (geb. 1864) 36	
Bragg, W. L.	82	Euler (1707—83)	11, 86
Braun (1850—1918)	64	Färber	125
Bravais (1811—63)	79	Fajans (geb. 1887) 77, 103, 124	
Brown (1773—1858)	46, 47	Faraday (1791—1867) 8, 15, 27, 50, 72, 73, 86	
Bruno, Giordano (1548—1600) 13		Fechner (1801—87)	14
Bunsen (1811—99)	53, 55, 56	Fedorow, J. A. (geb. 1853)	80
Butlerow, A. (1828—86)	29	Frankland, E. (1825—99)	22
Cavendish (1731—1810)	9	Franklin, B. (1706—90)	48, 72
Ciamician (1857—1922)	56	Fraunhofer (1787—1826)	53

Gäde (geb. 1878)	47	Kirchberger	123
Galilei (1564—1642)	10, 86, 94	Kirchhoff (1824—87)	55, 56
Galle (1812—1910)	39	Kistner (geb. 1878)	119, 125
Galvani (1737—98)	49	Klaproth (1743—1817)	11
Gassendi (1592—1655)	13	Kolbe, H. (1818—84)	22
Gay-Lussac (1778—1850)	15, 16	König, M.	107
Geißler (1814—79)	61	Konstantinowsky, D.	106
Geitel (geb. 1855)	71	Kossel, W. (geb. 1888)	96, 98, 125
Gerlach	122	Krönig (1822—79)	41
Gmelin, L. (1788—1853)	31	Lagrange (1736—1813)	86
Goethe (1749—1832)	113	Lamarck (1744—1829)	113
Goldstein (geb. 1850)	67	Langmuir	119
Grätz (geb. 1856)	124	Lassar-Cohn (1858—1922)	121
Graham (1805—69)	78	Laßwitz (1848—1910)	125
Grimschl (1861—1914)	121	Laue, M. v. (geb. 1879)	79, 81, 122,
Guericke (1602—86)	10	123	
Haas, A. (geb. 1884)	60, 122	Laurent (1807—53)	31
Hahn, O. (geb. 1879)	76	Lavoisier (1743—94)	11, 110
Harkins, W. D.	79, 109, 110	Lecoq de Boisbaudran (geb. 1838)	38, 56
Hadly, R. J. (1743—1822)	79	Leibniz (1646—1716)	14
Helmholtz (1821—94)	52, 57, 110,	Lembert (geb. 1891)	123
116		Lenard (geb. 1862)	66, 67, 90
Heraklit (etwa 535—475 v. Chr.)	114	Leukipp (vielleicht 500 v. Chr.)	12
Hertz, H. (1857—94)	66, 86, 88	Leverrier (1811—77)	39
Herz (geb. 1875)	125	Liebig (1803—73)	26
Hevesy	119	Lillienfeld, E.	119
Hittorf (1824—1914)	45, 62	Linné (1707—78)	113
Hjelt (geb. 1855)	125	Lommel (1837—99)	121
Hönigschmid, O. (geb. 1878)	77	Lorentz, H. A. (geb. 1853)	52
Hoff, van't (1852—1911)	31, 32, 45	Loschmidt (1821—95)	25, 42, 43, 80
Hoffmann, F. (1660—1742)	11	Lukrez (96—55 v. Chr.)	13
Humboldt, A. v. (1769—1859)	27	Mach (1838—1916)	4, 6
Huygens (1629—95)	54, 79, 88	Mariotte (1620—84)	15, 16
Kant, I. (1724—1804)	14, 15, 113	Marsden	90
Kaufmann, W. (geb. 1871)	73	Maxwell (1831—79)	86, 88, 90
Kayser (geb. 1855)	60	Mayer, Rob. (1814—78)	40, 110
Kekulé (1829—96)	24, 25	Meinecke (1781—1823)	108
Kepler (1571—1630)	10, 89, 91, 119,	Meitner, L.	76
120			

Mendelejeff (1834—1907)	37, 38, 39	Schmidt, G. C. (geb. 1865)	76
Meyer, Lothar (1830—95)	36	Schönflies, A. (geb. 1853)	80
Meyer, Osk. E. (1834—1909)	41	Schuster, A. (geb. 1851)	57
Millikan (geb. 1868)	105, 106, 124	Sennert (1572—1637)	13
Moseley (1888—1915)	84, 85, 86, 120	Seubert, K. (geb. 1851)	38
Newlands	36	Siegbahn, K. M. Gg.	119
Newton (1642—1727)	5, 6, 7, 14, 57, 86, 88, 89, 94, 119	Smith, A. (geb. 1865)	121
Nilson, F. (1840—99)	38, 39	Soddy (geb. 1877)	76, 77, 103, 104
Parankiewicz, I.	106	Sommerfeld (geb. 1868)	93, 94, 124
Pasteur (1822—95)	30, 33, 34, 117	Stark (geb. 1874)	94
Perrin	47	Stas, J. L. (1813—91)	19, 108
Pettersson, O. (geb. 1848)	38	Stobbe (geb. 1860)	36
Pfeffer, W. (1845—1920)	34, 45	Stöckl (geb. 1873)	124
Pfeiffer, P. (geb. 1875)	82, 83, 95	Stokes (1819—1903)	105, 106, 107
Planck (geb. 1858)	87, 88	Stoney (geb. 1826)	52
Plücker (1801—68)	62	Svedberg, The	47
Poincaré, H. (1854—1912)	6	Symmer (gest. 1763)	48
Proust, J. L. (1755—1826)	11	Targonski	107
Prout (1786—1850)	101, 107, 108, 109, 110, 113, 123	Thomson, J. J. (geb. 1857)	73, 78, 102
Ramsay (1852—1916)	71	Townsend (geb. 1868)	105
Regener, E. (geb. 1881)	106, 107	Vauquelin, L. N. (1763—1829)	11
Reich (geb. 1883)	122	Volkman, P. (geb. 1856)	87
Richards, Th. W. (geb. 1868)	19	Volta (1745—1827)	49
Richter (1762—1807)	11	Warburg (geb. 1846)	121
Rinne, Fr. (geb. 1863)	82, 125	Wehnelt (geb. 1871)	119
Röntgen (1845—1923)	48, 67, 68, 70	Weinberg, A. v.	123
Rowland (1848—1901)	73	Wenzel (1740—93)	11
Rumford (1753—1814)	40, 41	Werner, A. (1866—1919)	83, 95, 98
Runge (geb. 1856)	60	Wien, W. (geb. 1864)	67
Rutherford (geb. 1871)	74, 89, 101, 102, 103, 104, 124	Wiener, Chr. (1826—96)	47
Rydberg (1854—1919)	60, 96, 109	Wilson	109, 110
Scherrer, P. (geb. 1890)	82	Wilson, C. T. R. (geb. 1869)	72, 102
Schidlof, A.	106, 107	Winderlich	124
Schlick (geb. 1882)	123	Winkler, Cl. (1838—1904)	39
		Wislicenus, J. (1835—1902)	31
		Wöhler (1800—82)	27
		Wollaston (1766—1828)	30, 116
		Wolter, K.	107

Tafel 1. Die chemischen Elemente.

Atom- buchstabe	Name	Ordnungs- zahl	Atom- gewicht	Atom- buchstabe	Name	Ordnungs- zahl	Atom- gewicht
Ac	Actinium	89	(226)	Mn	Mangan	25	54,93
Ag	Silber	47	107,88	Mo	Molybdän	42	96,0
Al	Aluminium	13	27,1	N	Stickstoff	7	14,008
Ar	Argon	18	39,9	Na	Natrium	11	23,00
As	Arsen	33	74,96	Nb	Niobium	41	93,5
Au	Gold	79	197,2	Nd	Neodymium	60	144,3
B	Bor	5	10,9	Ne	Neon	10	20,2
Ba	Barium	56	137,4	Ni	Nickel	28	58,68
Be	Beryllium	4	9,1	O	Sauerstoff	8	16,000
Bi	Wismut	83	209,0	Os	Osmium	76	190,9
Br	Brom	35	79,92	P	Phosphor	15	31,04
C	Kohlenstoff	6	12,00	Pa	Protactinium	91	(230)
Ca	Calcium (Kalzium)	20	40,07	Pb	Blei	82	207,2
Cd	Cadmium (Kadmium)	48	112,4	Pd	Palladium	46	106,7
Ce	Cerium (Zerium)	58	140,25	Po	Polonium	84	(210,0)
Cl	Chlor	17	35,46	Pr	Praseodymium	59	140,9
Co	Kobalt	27	58,97	Pt	Platin	78	195,2
Cr	Chrom	24	52,0	Ra	Radium	88	226,0
Cs	Cäsium (Zäsium)	55	132,8	Rb	Rubidium	37	85,5
Cu	Kupfer	29	63,57	Rh	Rhodium	45	102,9
Dy	Dysprosium	66	162,5	Ru	Ruthenium	44	101,7
Em	Emanation	86	222	S	Schwefel	16	32,07
Er	Erbium	68	167,7	Sb	Antimon	51	120,2
Eu	Europium	63	152,0	Sc	Scandium (Skandium)	21	45,10
F	Fluor	9	19,00	Se	Selen	34	79,2
Fe	Eisen	26	55,84	Si	Silicium	14	28,3
Ga	Gallium	31	69,9	Sm	Samarium	62	150,4
Gd	Gadolinium	64	157,3	Sn	Zinn	50	118,7
Ge	Germanium	32	72,5	Sr	Strontium	38	87,6
H	Wasserstoff	1	1,008	Ta	Tantal	73	181,5
He	Helium	2	4,00	Tb	Terbium	65	159,2
Hg	Quecksilber	80	200,6	Te	Tellur	52	127,5
Ho	Holmium	67	163,5	Th	Thorium	90	232,1
In	Indium	49	114,8	Ti	Titan	22	48,1
Ir	Iridium	77	193,1	Tl	Thallium	81	204,0
J	Jod	53	126,92	Tu	Thulium	69	169,4
K	Kalium	19	39,10	U	Uran	92	238,2
Kr	Krypton	36	82,92	V	Vanadium	23	51,0
La	Lanthan	57	139,0	W	Wolfram	74	184,0
Li	Lithium	3	6,94	Xe	Xenon	54	130,2
Lu	Lutetium	71	175,5	Y	Yttrium	39	88,7
Mg	Magnesium	12	24,32	Yb	Ytterbium	70	173,5
				Zn	Zink	30	65,37
				Zr	Zirkonium	40	90,6

Tafel 3. Das periodische System II.

Die Elemente mit ihren Ordnungszahlen.

Die Ordnungszahl steht über dem Atomzeichen.
Das Atomgewicht unter dem Atomzeichen ist stets auf einen ganzzahligen Wert gebracht; den genauen Wert findet man in Tafel I und 2.

1	H	1	2	He	4	3	Li	7	4	Be	9	5	B	11	6	C	12	7	N	14	8	O	16	9	F	19	10	Ne	20
11	Na	23	12	Mg	24	13	Al	27	14	Si	28	15	P	31	16	S	32	17	Cl	35	18	Ar	36	19	K	39	20	Ca	40
19	K	39	21	Sc	45	22	Ti	48	23	V	51	24	Cr	52	25	Mn	55	26	Fe	56	27	Co	59	28	Ni	58	29	Cu	63
37	Rb	85	38	Sr	87	39	Y	89	40	Zr	91	41	Nb	93	42	Mo	96	43	Ru	101	44	Rh	102	45	Pd	106	46	Ag	108
55	Cs	133	56	Ba	137	57	La	139	58	Ce	140	59	Pr	141	60	Nd	144	61	Sm	150	62	Eu	152	63	Gd	157	64	Tb	159
87	Ra	226	88	Ac	227	89	Th	232	90	Pa	231	91	U	238	92	Th	232	93	Pa	231	94	U	238	95	Np	237	96	Pu	242
133	Cs	133	137	Ba	137	139	La	139	140	141	144	150	152	157	159	163	164	168	169	174	176	182	184	191	193	195	197	201	204
111	In	115	112	Cd	112	113	Sb	121	114	115	119	120	128	127	130	137	138	146	154	162	172	180	188	196	204	207	209	210	222
81	Tl	204	82	Pb	207	83	Bi	209	84	Po	210	85	At	210	86	Rn	222	87	Fr	223	88	Ra	226	89	Ac	227	90	Th	232

Ausgewählte
Lesestücke zum Studium
der politischen Ökonomie

Herausgegeben und eingeleitet von

Karl Diehl und Paul Mombert
o. ö. Professor für Nationalökonomie a. o. Professor für Nationalökonomie

I. Reihe:

Band		3. Auflage
I:	Zur Lehre vom Geld, I. Teil	3.
„	II: Der Arbeitslohn	3. „
„	III: Von der Grundrente	2. „
„	IV: Wert und Preis, I. Teil	2. „
„	V: Wert und Preis, II. Teil	2. „
„	VI: Bevölkerungslehre	2. „
„	VII: Wirtschaftskrisen	2. „
„	VIII: Kapitalzins und Unternehmergeinn	2. „
„	IX: Freihandel und Schutzzoll	2. „
„	X: Zur Lehre vom Geld, II. Teil	2. „

II. Reihe:

- Band XI: Sozialismus, Kommunismus, Anarchismus. I. Abteilung:
Schriften von Hauptvertretern dieser Richtungen
- „ XII: Sozialismus, Kommunismus, Anarchismus. 2. Abteilung:
Programme und programmatische Kundgebungen
- „ XIII: Grundsätze der Besteuerung
- „ XIV: Sozialpolitik

In Vorbereitung befinden sich Bände über

„Die gegenwärtige Wirtschaftslage Deutschlands“
„Kapital und Kapitalismus“
„Geldwesen“

Die Sammlung wird fortgesetzt.

An vielen Universitäten im Gebrauch!

Grundpreis des Einzelbandes 3 M. Die I. Reihe (I/X) auf einmal bezogen Grundpreis 28,50 M. Die II. Reihe (XI/XIV) auf einmal bezogen Grundpreis 11,40 M. — Die Grundpreise sind mit der üblichen Teuerungszahl des Buchhandels zu vervielfachen.

Von Kaufleuten, Beamten, Lehrern, Politikern und allen, die am öffentlichen Leben Anteil nehmen, zum Selbststudium vielfach verwendet und anerkannt.

Alle fremdsprachlichen Teile sind ins Deutsche übersetzt.

Verlag G. Braun, Karlsruhe i. B., Karlfriedrichstr. 14

ΣΥΜΒΟΛΑ. Anfangsgründe einer Erkenntnistheorie. Von Dr. phil. Richard Gätschenberger. Grundpreis brosch. 6 M., geb. 8 M. Liebhaber-Halbfranzbände werden nur auf Bestellung und zum Tagespreise angefertigt.

Das Buch wendet sich hauptsächlich an die werdenden Philosophen, die in den erkenntnistheoretischen und metaphysischen Lehren keine Klarheit und kein Ergebnis ihrer Studien gefunden haben. Der Autor vertritt die Auffassung, daß alle Philosophen im wesentlichen dasselbe meinen, dasselbe aber verschieden ausdrücken. Es selbst sagt ebenfalls nichts wesentlich Neues; er sagt es aber in einer wesentlich neuen Sprache, in der Sprache der Sematologie. In dieser Sprache sind nicht nur Worte, sondern auch Empfindungen, Zeichen, nicht nur Sätze, sondern auch Wahrnehmungen und Gedanken Symbole, und in dieser Sprache läßt sich der Widerstreit der Lehrmeinungen überbrücken und alles Dunkle ins Verständliche übersetzen. Auf die unklaren Termini Wahrheit, Erkenntnis, Irrtum, Geist, Seele, Ich, Vernunft, Wille, Bewußtsein, Gedächtnis, Assoziation, Ding an sich, Erscheinung, Begriff, Urteil kann verzichtet werden. An ihre Stelle tritt eine sematologische und physiologische Ausdrucksweise. Dadurch wird zwar die Sprache des Buches materialistisch, sie sagt aber dasselbe, was der Spiritualist mit anderen Worten sagt.

Enzyklopädisches Register zu Schopenhauers Werken von Gustav Wagner. XI und 597 Seiten Lexikonoktav. Grundpreis brosch. 15 M.

„Zeitschrift für Philosophie und Pädagogik“. Ein solches Register ist wohl kaum über einen Denker aufgestellt. Auch nicht über Plato und Aristoteles Das von Wagner ist ein Muster für alle derartigen Arbeiten. Es bietet die Möglichkeit, jeden wichtigen Satz des Denkers leicht aufzufinden.

Die Seele des Menschen. Psychologische und pädagogische Grundbegriffe von Staatsrat Dr. Dr. h. c. Ernst von Sallwürk. — 1. Das Wesen der Seele. — 2. Vorstellung und Anschauung. — 3. Gefühl und Handeln. — Mit einer Figurentafel. Grundpreis 1 M.

Spenglers Geschichts-Philosophie. Eine Kritik. Von Prof. Dr. Karl Schück. Grundpreis 0.75 M.

Die Monatschrift „Hochland“ schreibt in einer „Spengler“-Besprechung: „Am deutlichsten hat ihn bis jetzt wohl Karl Schück formuliert“. Schück berücksichtigt auch den 2. Band vom „Untergang des Abendlandes“!

Die angegebenen Grundpreise sind mit der jeweils gültigen Teuerungszahl des Buchhändler-Börsenvereins zu vervielfachen und ergeben so den Papiermarkpreis.

Verlag G. Braun, Karlsruhe i. B., Karlfriedrichstr. 14

Tycho Brahe. Ein Bild wissenschaftlichen Lebens und Arbeitens im sechzehnten Jahrhundert. Von Dr. J. L. E. Dreyer, Direktor der Sternwarte in Armagh. Autorisierte deutsche Übersetzung von M. Bruhns. Mit einem Vorwort von W. Valentiner, Vorstand der Sternwarte Karlsruhe. Grundpreis 10 M.

Geschichte des Fixsternhimmels, enthaltend die Sternörter der Kataloge des 18. und 19. Jahrhunderts. Herausgegeben von der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Abteilung I: Der nördliche Sternhimmel. Band 1: 0^h Rektaszension. Grundpreis 5 M.

Wolkentafeln. 16 Bilder in Lichtdruck von Direktor Dr. P. Polis. Grundpreis 5 M.

„Für die Kenntnis unserer Atmosphäre ein ebenso malerisch schöner, wie meteorologisch nützlicher Beitrag, der, indem er die Wolkenformen, wie sie durch internationale Bezeichnung festgestellt worden sind, unterscheiden lehrt, für deren Studium von großem Nutzen sein wird.“
Deutsche Revue.

Die badische Landeswetterwarte Karlsruhe. Ihre Einrichtungen und Arbeiten. Von Dr. Albert Peppler, Direktor der Landeswetterwarte, a. o. Professor an der Technischen Hochschule, Karlsruhe. Mit 22 Figuren im Text, 2 Tabellen und 1 Karte im Anhang. Grundpreis 1 M.

Die elektromagnetische Rotation und die unipolare Induktion in kritisch-historischer Behandlung von Dr. Siegfried Valentiner. Grundpreis 2 M.

Sammlung von Aufgaben aus der Differential- und Integralrechnung von L. A. Sohncke. I. Teil: Differentialrechnung. Herausgegeben von Prof. Dr. Hermann Amstein. Sechste verbesserte Auflage bearbeitet von Dr. Martin Lindow. Mit 124 in den Text gedruckten Figuren. Grundpreis 2.50 M. — II. Teil: Integralrechnung wird in neuer Auflage erscheinen.

Formeln aus der Differential- und Integralrechnung. Als Anhang zur Sohncke'schen Aufgabensammlung zusammengestellt von Dr. Martin Lindow. Grundpreis 1 M.

Die Anwendung der Differentialrechnung auf das technische Zeichnen. Von Dr. Martin Lindow. Mit 45 in den Text gedruckten Figuren. Grundpreis 1.20 M.

Einführung in die allgemeine und anorganische Chemie auf elementarer Grundlage von Dr. Alexander Smith, Professor der Chemie und Direktor des Instituts der chemischen Abteilung an der Columbia-Universität New-York, Deutsche Bearbeitung. Mit einem Vorwort von Dr. Fritz Haber. Fünfte Auflage. Überarbeitet und ergänzt von Dr. ing. J. D'Ans. Grundpreis 9 M.

Verlag G. Braun, Karlsruhe i. B., Karlfriedrichstr. 14

