

DIE ENTWICKELUNG
DER
ATOMISTIK.

FESTREDE

GEHALTEN

AM

STIFTUNGSTAGE DER KAISER WILHELMS-AKADEMIE
FÜR DAS MILITÄRÄRZTLICHE BILDUNGSWESEN,

2. DEZEMBER 1912

VON

HEINRICH RUBENS.

1913

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

DIE ENTWICKELUNG
DER
ATOMISTIK.

FESTREDE

GEHALTEN

AM

STIFTUNGSTAGE DER KAISER WILHELMS-AKADEMIE
FÜR DAS MILITÄRÄRZTLICHE BILDUNGSWESEN,

2. DEZEMBER 1912

VON

HEINRICH RUBENS.

1913

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-662-34350-0
DOI 10.1007/978-3-662-34621-1

ISBN 978-3-662-34621-1 (eBook)

Eure Exzellenz!
Hochansehnliche Versammlung!

In der stattlichen Reihe grosser Männer, welche aus der Kaiser Wilhelms-Akademie hervorgegangen sind, steht Hermann von Helmholtz wohl an erster Stelle. Zu besonderer Ehre gereicht es dieser Anstalt, welche auf dem Gebiete der Medizin vorwiegend praktische Ziele verfolgt, dass der grösste deutsche Naturforscher des verflossenen Jahrhunderts ihr als Schüler angehört hat. Wiederholt hat Helmholtz in seinem späteren Leben der vielseitigen Anregung gedacht, welche ihm von seiten der Militärärztlichen Bildungsanstalt zu teil geworden ist, nicht nur auf dem Gebiete der reinen Medizin, sondern auch auf demjenigen der angrenzenden Naturwissenschaften. In der Tat ist, was Helmholtz als Forscher auch vor den besten der zeitgenössischen Gelehrten auszeichnet, neben der glücklichen Mischung von kritischem Scharfsinn und gestaltender Phantasie, seine ungeheure allgemeine Bildung auf naturwissenschaftlichem Gebiet. Nach Leonardo da Vinci weiss die Geschichte wohl keinen Meister zu nennen, welcher in so vielen

Zweigen menschlichen Wissens und Könnens schöpferisch und umgestaltend gewirkt hat. Als Anatom, Physiologe, Ophthalmologe, Chemiker, Physiker und Philosoph übt er heute noch mit unverminderter Kraft seinen Einfluss auf die Entwicklung dieser Wissenschaften aus und speziell in der Physik sind die Richtlinien seines Schaffens für die neueste Forschung durchaus massgebend.

Es sei mir gestattet, an dem heutigen Tage, welcher den Traditionen der Kaiser Wilhelms-Akademie geweiht ist, Ihre Aufmerksamkeit für ein Wissensgebiet in Anspruch zu nehmen, welches mit Helmholtz' Namen für ewige Zeiten verknüpft ist: die moderne Atomistik.

Dass alle Körper aus unvergänglichen, unveränderlichen, gleichartigen Teilchen bestehen sollen, haben schon im Altertum Leucipp und nach ihm Demokrit in bestimmterer Weise ausgesprochen. Sie bedurften dieser Hypothese, um die nachweisbaren Veränderungen der Körper, ihr scheinbares Werden und Vergehen zu erklären, ohne ein wirkliches Vergehen und Entstehen annehmen zu müssen. Zu dem weiteren Ausbau dieser einfachen und ungemein anschaulichen Hypothese gebrauch es freilich dem Altertum an Mitteln. Eine Weiterführung der Atomistischen Theorie wäre nur mit Hilfe des Experiments unter besonderer Be-

rücksichtigung der quantitativen Verhältnisse möglich gewesen. Die grundlegende Bedeutung dieses wichtigsten Hilfsmittels der Forschung ist aber erst vor wenigen Jahrhunderten erkannt worden.

Seit den Zeiten des Altertums ist der Atomismus als philosophisches Prinzip niemals vollkommen in Vergessenheit geraten. Seine Entwicklung zu einer physikalischen Theorie aber hat sich erst in dem letzten Jahrhundert vollzogen. Im Anfange dieser Epoche waren es vornehmlich zwei Richtungen, nach welchen sich die grosse Tragweite und Fruchtbarkeit des Atomismus bewährt hat. Die erste betrifft unsere Vorstellung von dem Wesen der chemischen Prozesse, die zweite unsere Anschauung von der Konstitution der Gase.

Die Geschichte einer jeden experimentellen Wissenschaft wird durch die Erfindung des ersten exakten Messinstrumentes in entscheidender Weise beeinflusst. So existiert eine nach unseren heutigen Begriffen wissenschaftliche Wärmelehre erst nach Einführung des Thermometers. Ebenso wurde die Chemie erst zur Wissenschaft im modernen Sinne durch die systematische Verwendung der Wage. Aus zahlreichen quantitativen Messungen leitete John Dalton im Jahre 1808 das grundlegende Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen ab. Dieses Gesetz sagt aus, dass man für jedes chemische

Element eine Zahl ermitteln kann, welche man sein Verbindungsgewicht nennt. In einer chemischen Verbindung stehen die Mengen der darin enthaltenen Elemente entweder im Verhältnis ihrer Verbindungsgewichte oder ganzzahliger Vielfacher derselben. Zur Erklärung dieses wichtigen Gesetzes liess Dalton die alte Atomlehre in veränderter Form neu erstehen. Mit einigen Modifikationen, welche spätere Erfahrung als notwendig erwiesen hat, lässt sie sich folgendermassen darstellen:

Jedes Element und jede Verbindung besteht aus kleinen, mechanisch nicht mehr trennbaren Teilchen, den Molekülen, welche innerhalb eines jeden homogenen Stoffes gleichartig, aber von Element zu Element, von Verbindung zu Verbindung verschieden sind. Aber diese Moleküle sind im allgemeinen noch nicht die eigentlichen Elementarkörper. Auch sie sind wieder aus einer kleinen ganzen Zahl von Atomen zusammengesetzt, welche in dem Molekül eines Elements alle von gleicher Art, in demjenigen einer chemischen Verbindung teilweise von verschiedener Art sind. Der Zusammentritt mehrerer Elemente zu einer Verbindung geschieht nach dieser Anschauung in der Weise, dass die Moleküle der Elemente in ihre Atome zerteilt und diese zu den Molekülen der neugebildeten Verbindung vereinigt werden. Das Mengenverhältnis

der Elemente in der Verbindung müsste hiernach mit dem Gewichtsverhältnis ihrer Atome übereinstimmen, wenn stets nur ein einziges Atom eines jeden Elements in dem Molekül einer Verbindung vorhanden wäre. Da aber diese Bedingung sehr häufig nicht erfüllt ist, sondern zwei, drei oder mehr Atome desselben Elements mit Atomen anderer Elemente zu einem Verbindungsmolekül zusammentreten, so wird im allgemeinen auch das Massenverhältnis der Elemente in der Verbindung nicht mit dem Gewichtsverhältnis der Atome identisch sein können, sondern es wird sich von jenem durch kleine ganzzahlige Faktoren und Quotienten, die sogenannten Wertigkeiten oder Valenzen unterscheiden, welche für jedes Element im allgemeinen charakteristisch sind, aber auch wechseln können. Das wahre Gewichtsverhältnis der Atome wird also aus dem Massenverhältnis der Elemente durch Multiplikation mit dem Verhältnis der Wertigkeiten erhalten. Hiernach können die Verbindungsgewichte als relative Atomgewichte gedeutet werden. Da die chemische Analyse über das absolute Gewicht der Atome nichts aussagen kann, so hat man das unbekannte Gewicht des Wasserstoffatoms als Einheit für die Atomgewichte der übrigen Elemente gewählt. Bei Elementen ergibt sich das Molekulargewicht aus dem Atomgewicht durch Multiplikation

mit der Anzahl der Atome im Molekül, bei Verbindungen durch Bildung der Summe aller Produkte dieser Art. Als Aequivalentgewicht endlich bezeichnet man das Mengenverhältnis, mit welchem ein Element sich mit dem Wasserstoff, der willkürlich gewählten Normalsubstanz, verbindet. Das Aequivalentgewicht ist also nach dem Vorausgehenden, da Wasserstoff einwertig ist, gleich dem Atomgewicht dividiert durch die Wertigkeit. Das Gesetz der multiplen Proportionen erfährt, wie man sieht, durch die modifizierte Atomtheorie Daltons eine ungemein anschauliche Deutung.

Man kann den Nutzen, welchen die Molekularhypothese der Chemie gebracht hat, schwerlich zu hoch anschlagen. Hierdurch allein schon wäre die Aufstellung dieser Hypothese im vollsten Masse gerechtfertigt. Aber es erwuchs ihr 50 Jahre später auf rein physikalischem Boden eine zweite mächtige Stütze in der kinetischen Theorie der Gase.

Dass ein Gas im Gegensatz zu einem festen Körper aus kleinsten Teilchen bestehen müsse, welche nicht an feste Gleichgewichtslagen gebunden sind, noch in fortwährender Wechselwirkung mit den Nachbarmolekülen stehen, sondern frei umherfliegen, hat schon Daniel Bernoulli im 18. Jahrhundert behauptet. Es gelang ihm auf Grund dieser Vorstellung, die vollkommene Raumerfüllung der

Gase und einige andere ihrer wichtigsten Eigenschaften zu erklären. Trotz ihrer grossen Bedeutung wurde aber die Bernoullische Anschauungsweise wenig beachtet und war wohl vollkommen vergessen, als sie durch Krönig 1856 neu entdeckt und dann durch Clausius, Maxwell und Boltzmann schärfer präzisiert und zu sehr hoher Vollkommenheit entwickelt worden ist. Heute gehört diese kinetische Theorie der Gase, die sich zu einer kinetischen Theorie der gesamten Materie zu erweitern im Begriffe ist, zu den wertvollsten Errungenschaften des menschlichen Geistes. Sie befriedigt die höchsten Anforderungen, welche man an eine Hypothese stellen darf. Sie erlaubt nicht nur das gesamte Tatsachenmaterial in einfacher und anschaulicher Weise aus der gegebenen Grundvorstellung abzuleiten, auch alle Folgerungen, welche man aus ihr gezogen hat, um neue unbekannte Eigenschaften der Gase aufzufinden, haben sich in überraschender Weise bestätigt.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, hier auf die Einzelheiten dieser wundervollen Lehre näher einzugehen. Ich darf dies heute um so eher unterlassen, als einer meiner Amtsvorgänger, Herr Warburg, welcher selbst an dem Ausbau und der experimentellen Prüfung der Theorie hervorragenden Anteil besitzt, im Jahre 1901 an dieser Stelle einen umfassenden

Bericht über jenen Gegenstand gebracht hat. Ich will deshalb die Grundzüge der kinetischen Gastheorie nur so weit schildern als dies zum Verständnis der Folgerungen erforderlich ist, welche man in Beziehung auf die Grösse der Moleküle, auf ihre Masse und auf ihre Zahl in der Volumeinheit gezogen hat.

Wir denken uns ein für den Beobachter in scheinbarer Ruhe befindliches Gas von konstanter Temperatur aus einer ungeheuer grossen aber endlichen Zahl von Molekülen bestehend, welche mit grosser Geschwindigkeit durcheinander fliegen, wobei sie sowohl die Wände des Gefässes als auch sich gegenseitig treffen. Hierbei sollen die Gesetze des elastischen Stosses gelten, nach welchen nicht nur die Summe der Bewegungsgrösse, sondern auch die Summe der kinetischen Energie vor und nach dem Stoss dieselbe bleibt. Durch den Anprall der Teilchen gegen die Gefässwände wird der manometrisch gemessene Druck des Gases hervorgebracht. Hinsichtlich der Bewegungsrichtung der einzelnen Moleküle herrscht das Gesetz der elementaren Unordnung, welches aussagt, dass keine Vorzugsrichtung existiert, vielmehr alle Richtungen gleich wahrscheinlich sind. Es wird ferner angenommen, dass die Zahl der Moleküle auch in den kleinsten der Messung noch zugänglichen Raumteilen immer noch so gross ist, dass die Gesetze der Statistik und

Wahrscheinlichkeitsrechnung angewendet werden dürfen. Es lässt sich dann durch rein mechanische Betrachtungen streng beweisen, dass für ein solches Gebilde die drei fundamentalen Gasgesetze von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und Avogadro gelten müssen. Rückschliessend erhält man für die Eigenschaften der Moleküle selbst aus den Konstanten dieser Gesetze eine Reihe sehr interessanter Folgerungen. Zunächst lässt sich zeigen, dass das Produkt aus dem Druck eines Gases und dem Volumen, welches die Masseneinheit bei diesem Druck und einer bestimmten Temperatur einnimmt, dem dritten Teile des mittleren Geschwindigkeitsquadrates der Gasmoleküle gleich ist. Man ist also imstande, die mittlere Geschwindigkeit eines Moleküls einer jeden Gasart bei jeder Temperatur zahlenmässig anzugeben. Diese Geschwindigkeit ergibt sich beispielsweise für Sauerstoff von 0° zu 461 m per Sekunde, für Wasserstoff von gleicher Temperatur zu 1839 m per Sekunde.

Aus den Gasgesetzen folgt weiter, dass das mittlere Geschwindigkeitsquadrat, also auch die mittlere kinetische Energie der Moleküle der sogenannten absoluten Temperatur proportional ist, und dass der translatorische Anteil dieser mittleren kinetischen Energie für verschiedenartige Moleküle bei gleicher Temperatur derselbe sein muss.

Viel interessanter und wichtiger aber als die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle ist für uns ihre Grösse, ihre Masse und ihre Anzahl in der Volumeneinheit unter sogenannten Normalbedingungen, d. h. bei 0°C und einem Druck von 76 cm Quecksilber, dem normalen Barometerstand. Auch hierüber weiss uns die Theorie Aufschluss zu geben, und zwar ist zur Bestimmung der genannten fundamentalen molekularen Daten die Ermittlung zweier Grössen erforderlich, nämlich der mittleren freien Weglänge der Moleküle und ihrer relativen Raumerfüllung.

Nach der kinetischen Gastheorie ist der Weg, welchen ein Molekül zwischen zwei benachbarten Zusammenstössen freifliegend zurücklegt, sehr gross im Verhältnis zu seinem Durchmesser. Nun sind zwar diese freien Wegstrecken in den einzelnen Fällen ausserordentlich verschieden, aber sie schwanken, wenn die Zahl der Moleküle in der Volumeinheit unverändert bleibt, um einen konstanten Mittelwert, welcher ausser von dieser Molekülzahl nur von dem Durchmesser der Moleküle abhängt. Die mittlere freie Weglänge l lässt sich auf experimentellem Wege leicht ermitteln. Hierzu können z. B. Versuche über innere Reibung der Gase dienen. Bewegt sich ein fester Körper im Innern eines gaserfüllten Raumes, so erfährt er

einen Widerstand, welcher sich aus zwei Teilen zusammensetzt. Der erste Teil hat mit der eigentlichen Reibung nichts zu tun. Er rührt daher, dass der Körper bei seiner Bewegung eine gewisse Gasmenge vor sich herschiebt, welche nach den Seiten ständig abfließt und an welche er einen Teil seiner lebendigen Kraft abgibt. Dass aber daneben noch ein zweiter hemmender Einfluss vorhanden sein muss, erkennt man ohne weiteres daran, dass auch die Drehung eines Rotationskörpers um seine Symmetrieachse in einem gaserfüllten Raum einen messbaren Widerstand erfährt. Dieser Widerstand rührt nur von der inneren Reibung des Gases her. Bei hinreichender Gasdichte erweist sich die Annahme, dass die Gasteilchen an der Oberfläche des sich drehenden Rotationskörpers haften, als gerechtfertigt. Hiernach kann der Reibungsvorgang nur darin bestehen, dass sich die konzentrischen Schichten des Gases gegeneinander verschieben, was mit einem gewissen Arbeitsaufwand verbunden ist. Als Konstante der inneren Reibung μ bezeichnet man die zurückhaltende Kraft, welche auf ein Quadratcentimeter der Oberfläche des Rotationskörpers ausgeübt wird, wenn seine Geschwindigkeitsdifferenz gegen eine im Abstand von 1 cm befindliche konzentrische Gasschicht genau 1 cm per Sekunde beträgt. Es lässt sich leicht zeigen, dass

diese Konstante der inneren Reibung μ angenähert gleich dem dritten Teil des Produkts aus der Gasdichte, der mittleren Geschwindigkeit der Moleküle und der mittleren freien Weglänge sein muss. Diese einfache Beziehung liefert z. B. für die mittlere freie Weglänge des Argons unter Normalbedingungen $l = 0,00010$ mm, für diejenige des Wasserstoffs $l = 0,00019$ mm und für diejenige der Kohlensäure $l = 0,000068$ mm.

In ähnlicher Weise kann man die mittlere freie Weglänge der Gase auch aus ihren experimentell bestimmten Wärmeleitungskoeffizienten und Diffusionskoeffizienten herleiten.

Unter der relativen Raumerfüllung eines Gases versteht man das Verhältnis Q des von den Molekülen selbst eingenommenen Volumens zum Gesamtvolumen des Gases. Einen angenäherten Wert dieses Verhältnisses kann man erhalten, indem man das Gas verflüssigt und das Volumen der Flüssigkeit mit dem ursprünglichen Gasvolumen vergleicht. Ein genaueres Verfahren hat Van der Waals angegeben, welches auf der Anwendung der von ihm aufgestellten erweiterten Zustandsgleichung der Gase beruht. Bekanntlich gilt das Mariotte-Gay-Lussacsche Gasgesetz nicht ganz streng, sondern es zeigen sich gewisse Abweichungen, welche um so grösser ausfallen, je mehr man sich

dem Kondensationspunkt des Gases nähert. Diesen Abweichungen wird in der Van der Waalsschen Formel Rechnung getragen durch zwei Zusatzglieder, von welchen das erste die Druckerhöhung berücksichtigt, welche von der Anziehungskraft der Moleküle herrührt, während das zweite eine Volumkorrektur darstellt, deren Notwendigkeit sich daraus ergibt, dass die Moleküle selbst einen Teil des Gasvolumens einnehmen. Dieses zweite Zusatzglied ist aber nichts anderes als der vierfache Wert der gesuchten Grösse Q , der relativen Raumerfüllung. Durch sorgfältige Beobachtung des Gasvolumens bei verschiedenen Drucken und Temperaturen lassen sich die Konstanten der Van der Waalsschen Gleichung und damit auch die Grösse Q mit hinreichender Genauigkeit ermitteln. Aus der mittleren freien Weglänge l und der Raumerfüllung Q aber ergibt sich der Molekulardurchmesser a nach einer von Maxwell stammenden Formel zu $a = 6 \cdot \sqrt{2} \cdot l \cdot Q = 8,5 \cdot l \cdot Q$ und die Zahl N der Moleküle im Kubikzentimeter unter Normalbedingungen zu $\frac{6 Q}{\pi a^3}$. Die Masse m eines Moleküls erhält man, indem man die Dichte des Gases durch die Zahl der Moleküle in der Volumeinheit dividiert. N , die Zahl der Moleküle in der Volumeinheit unter Normalbedingungen, welche auch nach ihrem ersten

Ermittler die Loschmidtsche Zahl genannt wird, ist nach dem Avogadro'schen Gesetz eine universelle Grösse, während der Durchmesser a und die Masse m der Moleküle für verschiedene Substanzen verschieden sind. Wie man sieht, kann man mit Hilfe der kinetischen Gastheorie die molekularen Konstanten a , N und m leicht ermitteln; leider aber können diese Bestimmungen nicht sehr genau sein, weil allen Rechnungen die willkürliche Annahme zugrunde gelegt ist, dass die Moleküle Kugelgestalt besässen, eine Hypothese, welche wohl nur für einatomige Gase zutreffen kann. Immerhin wird man die gefundenen Grössen als angenähert richtig betrachten dürfen.

Für Kohlensäure, für welche die Konstanten der Van der Waalsschen Gleichung besonders genau bekannt sind, ergibt sich der Molekulardurchmesser a zu 0,3 Millionstel Millimeter, und die Loschmidtsche Zahl zu $N = 3,0 \times 10^{19}$ oder 30 Trillionen. Hiernach beträgt die Masse eines Kohlensäuremoleküls $6,6 \times 10^{-23}$ g, diejenige eines Wasserstoffatoms $1,5 \times 10^{-24}$ g.

Es ist nicht leicht, sich von diesen Grössen eine anschauliche Vorstellung zu bilden. Hierzu kann jedoch folgende Betrachtung dienen: Der Durchmesser der Erdkugel beträgt etwa 12,7 Millionen Meter, derjenige eines Tennisballs etwa 6,5 cm, der-

jenige eines Kohlensäuremoleküls nach den obigen Daten 0,3 Millionstel Millimeter. Der Durchmesser des Tennisballs ist hiernach 200 Millionen mal kleiner als derjenige der Erdkugel, aber ebensoviel mal grösser als der des Kohlensäuremoleküls. Eine Kugel von der Grösse eines Tennisballs bildet hiernach die mittlere Proportionale zwischen einem Kohlensäuremolekül und der Erdkugel.

Auch die Zahl N , zu welcher wir auf dem beschriebenen Wege gelangt sind, ist so ungeheuer gross, dass unsere Voraussetzung, nach welcher auch in den kleinsten der Beobachtung zugänglichen Räumen noch eine sehr grosse Zahl von Molekülen vorhanden sein soll, in weitgehendstem Masse erfüllt ist. Mit Hilfe der besten Quecksilberluftpumpen vermögen wir einen Raum so weit zu evakuieren, dass der Gasdruck darin noch etwa einem hunderttausendstel Millimeter Quecksilber entspricht; aber auch dann befinden sich noch ca. 400 Millionen Moleküle in einem Kubikzentimeter, also mehr Moleküle im Kubikzentimeter, als in Europa Menschen wohnen.

Es entsteht die Frage, ob es uns jemals gelingen wird, die Moleküle sichtbar zu machen. Sie muss leider verneint werden. Die kleinsten Gegenstände, welche man mit Hilfe des Mikroskops noch mit einiger Schärfe abbilden kann, sind von der Grössenordnung eines fünftausendstel Millimeters.

Diese Grenze ist nicht durch den mangelhaften Bau der Mikroskope, sondern durch die Wellenlänge des Lichts gegeben und man wird auch mit den besten Mikroskopen auf diesem Gebiete nie weiter kommen. Dagegen kann man durch Beugung seitliche einfallenden Lichts mit Hilfe des sogenannten Ultramikroskops noch Teilchen sichtbar machen, welche etwa 20mal kleiner sind. Man erhält dann freilich kein optisches Bild der Teilchen, sondern nur ein Merkmal für ihre Existenz. Aber selbst wenn es gelänge, auf diesem Wege bis zu 100 mal kleineren Dimensionen vorzudringen, so würde man die Moleküle doch wegen der enormen Geschwindigkeit, mit welcher sie sich auch bei den tiefsten der Beobachtung zugänglichen Temperaturen bewegen, nicht erkennen können. Es stehen uns also nur indirekte Methoden zur Verfügung, um ihre Eigenschaften zu erforschen.

Durch Daltons Entdeckung und Erklärung des Gesetzes der multiplen Proportionen und durch die Erfolge der kinetischen Gastheorie war der Atomismus als Arbeitshypothese Gemeingut aller Physiker und Chemiker geworden. Dagegen erschien es den meisten zweifelhaft, ob den Atomen und Molekülen eine wirkliche Existenz zuzuschreiben sei, eine Realität, wie wir sie von Gegenständen der Aussenwelt behaupten, welche auf unsere Sinne unmittelbar einwirken; ob nicht vielmehr die Molekularhypo-

these nur eines von vielen möglichen Bildern sei, welche bis zu einem gewissen Grade von Annäherung den Tatsachen gerecht werden. Ich glaube, dass man diese Zweifel heute nicht mehr zu hegen braucht, nachdem die letzten Jahrzehnte eine überwältigende Fülle neuer Bestätigungen der Atomlehre gebracht haben. Den Anstoss zu dieser glänzenden Entwicklung, zu dieser neuen Epoche des Atomismus hat Helmholtz gegeben.

Durch Faradays berühmte Messungen war der Nachweis erbracht worden, dass die bei einem elektrolytischen Vorgang primär ausgeschiedene Substanzmenge proportional der hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge und proportional dem chemischen Aequivalentgewicht der niedergeschlagenen Substanz ist. Dieses Gesetz nimmt eine besonders einfache Form an, wenn man die Gewichtsmenge der Substanzen nicht in Grammen, sondern in Grammäquivalenten ausdrückt; wobei ein Grammäquivalent so viel Gramme enthält, als das Aequivalentgewicht der betreffenden Substanz Einheiten besitzt. Das Faradaysche Gesetz lautet dann folgendermassen: Zur Ausscheidung eines Grammäquivalents beliebiger Substanzen wird stets die gleiche Elektrizitätsmenge gebraucht. Durch voltametrische Messungen hat sich diese Elektrizitätsmenge zu 96 540 Coulomb ergeben.

Faraday dachte sich den Vorgang der elektrischen Leitung durch Bewegung elektrisch geladener Massenteilchen, der Ionen bewirkt. Unter dem Einfluss der elektrischen Kräfte sollten positiv geladene Teilchen, die Kationen, zur Kathode und negativ geladene Teilchen, die Anionen, zur Anode wandern und dort ihre Elektrizitätsmenge abgeben unter gleichzeitiger Abscheidung ihrer Masse. Hiernach ist die zur Ausscheidung einer bestimmten Substanzmenge erforderliche Elektrizitätsmenge die gleiche, welche von den Ionen der Substanz getragen wird.

Unter der Annahme, dass die Ionen nichts anderes seien als Spaltprodukte des Elektrolytmoleküls in elektrisch geladene Atome oder Atomgruppen, hat Helmholtz aus dem Faradayschen Gesetz den ungemein wichtigen Schluss gezogen, dass jedes einwertige Ion, gleichgültig aus welchem Molekül es abgespalten wird, mit der gleichen, absolut unveränderlichen Elektrizitätsmenge geladen sein muss, und dass die Ladung mehrwertiger Ionen durch Multiplikation dieser Elektrizitätsmenge mit der Wertigkeit des Ions erhalten wird. Man sieht, dass nach dieser Vorstellungsweise das Faradaysche Gesetz stets erfüllt sein muss, weil immer chemisch äquivalente Substanzmengen gleiche Elektrizitätsmengen mit sich führen.

Helmholtz hat diesen grossen Gedanken zuerst in einer Rede zum Ausdruck gebracht, welche er am 5. April 1881 in der Chemical Society of London zu Ehren Faradays hielt. Er sagte darin folgendes:

„Dass die festen Verhältniszahlen der chemischen Verbindungen auf der Präexistenz unzerstörbarer Atome beruhen, mag hypothetisch erscheinen; zurzeit kennen wir aber noch keine hinreichend klare und entwickelte andere Theorie, die die Beobachtungstatsachen der Chemie so einfach und folgerichtig zu erklären imstande wäre, wie die atomistische Theorie der neueren Chemie. — Auf die elektrischen Vorgänge übertragen, führt diese Hypothese in Verbindung mit Faradays Gesetz allerdings auf eine etwas überraschende Folgerung. 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.“

Nach dieser Helmholtzschen Anschauung haben wir uns also vorzustellen, dass Elektrizitätsmengen ebenso wie Massen nicht kontinuierlich veränderlich sind, sondern nur sprungweise und zwar um ganz bestimmte Elementarquanta, die Elektrizitätsatome.

Die Grösse eines solchen Elementarquantums konnte man schon damals angenähert aus den vorhandenen Daten der kinetischen Gastheorie und Elektrolyse berechnen. Es war zu diesem Zwecke nur erforderlich, die von einem Grammäquivalent mitgeführte Elektrizitätsmenge, welche nach dem Vorstehenden 96 500 Coulomb beträgt, durch die Zahl der im Grammäquivalent eines einwertigen Stoffes vorhandenen Ionen zu dividieren. Um diese Zahl zu ermitteln, brauchen wir uns nur zu vergegenwärtigen, dass bei einem einwertigen Element, dessen Molekül nur aus einem einzigen Atom besteht, wie z. B. bei dem Silber, Aequivalentgewicht und Molekulargewicht übereinstimmen und dass nach dem Avogadro'schen Gesetz ein Grammolekül einer jeden Substanz im Gaszustand unter Normalbedingungen einen Raum von 22400 ccm einnimmt. Ob sich die betreffende Substanz bei 0° Celsius und Atmosphärendruck wirklich in Gasform befindet oder nicht, ist hier gleichgültig, weil wir die Gasgesetze nur zum Zwecke der Rechnung anwenden. Wir schliessen aus dem Vorausgehenden, dass in einem Grammolekül einer jeden Substanz $22400 \cdot N$ Moleküle vorhanden sind, und wir wissen, dass sich ebensoviele Ionen in dem Grammäquivalent eines einwertigen Stoffes befinden. Die Ladung eines einwertigen Ions, das Helmholtz'sche Elektrizitäts-

atom oder Elementarquantum, berechnet sich hier-
nach zu $e = \frac{96500}{22400 \cdot N}$ Coulomb oder zu $\frac{96500 \times 3 \times 10^9}{22400 \cdot N}$
 $= \frac{1,293}{N} \cdot 10^{10} = 4,3 \times 10^{-10}$ elektrostatischen Ein-
heiten, wenn wir für N den aus der kinetischen
Gastheorie abgeleiteten Wert 3×10^{19} einsetzen, und
wenn wir berücksichtigen, dass ein Coulomb gleich
 3×10^9 elektrostatischen Einheiten ist. In anderen
Worten: Das elektrische Elementarquantum ist etwa
gleich dem zweimilliardsten Teil derjenigen Elek-
trizitätsmenge, welche die gleiche Elektrizitätsmenge
in 1 cm Entfernung mit der Kraft von 1 Dyn. ab-
stößt. Das ist freilich ein winzig kleines Ladungs-
quantum, von welchem man damals kaum hoffen
durfte, dass es jemals durch unsere Messinstrumente
würde nachgewiesen werden können. Dennoch ist
es der Forschung des letzten Jahrzehnts gelungen,
diese ungemein schwierige Aufgabe sogar mit über-
raschender Genauigkeit zu lösen.

Bevor ich Sie indessen mit dem Ergebnis dieser
wichtigen Messungen bekannt machen kann, muss
ich kurz auf ein sehr merkwürdiges Phänomen
hinweisen, welches durch die Helmholtzsche
Theorie der Elektrizitätsatome eine neue Deutung
erhalten hat.

Bei der Beobachtung elektrischer Entladungen
in hoch evakuierten Röhren hat Hittorf im Jahre

1869 eine von der Kathode ausgehende Strahlenart entdeckt, die sogenannten Kathodenstrahlen, über deren Natur man lange Zeit im Unklaren war. Crookes und mit ihm die ganze englische Schule vertrat den Standpunkt, dass es sich um schnell fliegende Massenteilchen, etwa um Gasatome handele, während man in Deutschland unter dem Einfluss von Heinrich Hertz allgemein der Ansicht war, dass die Kathodenstrahlen ein den Lichtstrahlen ähnliches Aetherphänomen seien. Beide Hypothesen erwiesen sich jedoch als unhaltbar, und es kann heute insbesondere durch die Arbeiten von Wiechert und J. J. Thomson als sichergestellt gelten, dass die Kathodenstrahlen nichts anderes sind, als Schwärme äusserst schnell fliegender, von gewöhnlicher ponderabler Masse losgelöster, negativer Helmholtzscher Elektrizitätsatome, sogenannter Elektronen. Es ist allerdings bisher noch nicht gelungen, die Ladung eines einzelnen, frei fliegenden Kathodenstrahlenteilchens zu messen. Diejenigen Grössen, welche sich bisher mit Sicherheit haben ermitteln lassen, sind die Geschwindigkeit der Teilchen und das Verhältnis ihrer Ladung zu ihrer trägen Masse. Es hat sich dabei das wunderbare Resultat ergeben, dass die Geschwindigkeit der Elektronen in Geisslerschen Röhren meist zwischen $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{3}$ der Lichtgeschwindigkeit liegt, und dass

das Verhältnis der Ladung zur Masse eines Teilchens stets 1820 mal grösser ist als bei einem Wasserstoffion. Will man an den Helmholtzschen Elektrizitätsatomen festhalten, so ist man also zu der Annahme genötigt, dass die träge Masse der Elektronen 1820 mal kleiner ist als die eines Wasserstoffatoms.

Damit aber ist der Atomismus gezwungen, einen wesentlichen Schritt vorwärts zu tun. Die Atome sind nicht mehr die kleinsten Elementarkörper in dem Aufbau der Materie. Innerhalb und ausserhalb der Atome sind Elektronen in unbekannter, allem Anscheine nach grosser Zahl vorhanden, deren Masse selbst gegen die der leichtesten Atome verschwindend klein ist. Diese Erweiterung des Atomismus kommt jedoch dem Physiker keineswegs unerwartet. Der ungemein komplizierte Bau der Linienspektren, welche selbst einatomige Gase unter dem Einfluss elektrischer Entladungen zeigen, beweist, dass ein einfaches Gasatom eine grosse Zahl schwingungsfähiger Gebilde in sich enthalten muss. A. Rowland hat auf Grund seiner spektralanalytischen Beobachtungen die sehr charakteristische Aeusserung getan, dass ein Eisenatom komplizierter gebaut sein müsse als ein Steinway-Flügel.

Während man den negativen Elektronen, nachdem ihre Existenz einmal festgestellt war, bei einer

grossen Zahl optischer und elektrischer Phänomene begegnete, hat sich das Vorhandensein freier positiver Elektrizitätsatome trotz eifrigsten Suchens bisher nicht feststellen lassen. Dieser Tatbestand hat zu einer Hypothese geführt, nach welcher die Materie im gewöhnlichen Sinn als positiv elektrisch angenommen wird. Man denkt sich dann ein elektrisch neutrales Atom etwa als eine positive Kugel, welche die Hauptmasse des Atoms repräsentiert und innerhalb sowie ausserhalb der Kugel soviel Elektronen, dass die positive Ladung der Hauptmasse gerade kompensiert wird. Von den ausserhalb der Atomkugel befindlichen Elektronen nimmt man an, dass sie die Träger der chemischen Affinitätskräfte sind, welche hiernach rein elektrischen Charakter besitzen.

Auch unsere Vorstellung von dem Wesen der Elektrizitätsleitung in Gasen hat durch die Einführung der Helmholtzschen Elementarquanta eine wesentliche Umwandlung erfahren. Dass ein Gas kein vollkommener Isolator ist, wie man ursprünglich annahm, hat schon Coulomb durch sehr sorgfältige Messungen gezeigt. Nach einer hauptsächlich von J. J. Thomson und seinen Schülern ausgearbeiteten und durch zahlreiche Versuche sicher begründeten Theorie ist das beobachtete schwache Leitvermögen der Gase, ebenso wie bei

den Elektrolyten, auf das Vorhandensein geladener Ionen zurückzuführen, welche in einem elektrischen Felde in Bewegung gesetzt werden, an den Elektroden ihre Ladung abgeben und dadurch den Stromübergang vermitteln. Die Erzeugung der Gas-Ionen kann auf sehr verschiedene Weise geschehen, so z. B. durch chemische Prozesse, durch glühende Körper, durch Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen, die Strahlung radioaktiver Substanzen, ferner durch den Stoss schnell fliegender Teilchen gegen die Gasmoleküle. Man nimmt an, dass der Vorgang der Gasionisation in den meisten Fällen dadurch zustande kommt, dass einem neutralen Gasmolekül ein negatives Elementarquantum, ein Elektron, entrissen wird. Das Restmolekül bleibt dann als positives Ion zurück, während sich das Elektron an ein anderes neutrales Gasmolekül anlagert und mit ihm ein negatives Ion bildet.

Die ersten Versuche zur direkten Messung des Elementarquantums der Elektrizität sind von J. J. Thomson und seinen Schülern ausgeführt worden. Sie beruhen auf einer wichtigen Entdeckung von C. T. R. Wilson, welcher fand, dass sich der Wasserdampf in staubfreier Luft, wenn er einen gewissen Uebersättigungsgrad erreicht hat, zuerst an den negativen Gasionen kondensiert. Diese bilden die Kondensationskerne für die ent-

stehenden Wassertröpfchen. Ein jedes solches Wassertröpfchen ist also mit einem negativen Elementarquantum geladen. Die Tröpfchen sind zwar wegen ihrer Kleinheit dem unbewaffneten Auge einzeln nicht sichtbar, aber sie bilden eine Nebelwolke, deren Abwärtsbewegung unter dem Einfluss der Schwerkraft leicht gemessen werden kann. Man erhält eine bestimmte konstante Geschwindigkeit, welche wegen der Luftreibung um so geringer ausfällt, je kleiner der Radius der Tröpfchen ist. Da die Tropfen aber alle fast den gleichen Durchmesser haben, so bewegt sich die Wolke nahezu wie eine kompakte Masse. Dieser Versuch wird in einem Gefäss ausgeführt, dessen Deckel und Boden die Platten eines Kondensators bilden. Wird der Kondensator elektrisch geladen, so bewegt sich die Wolke in einem elektrischen Felde von bekannter Stärke, dessen Kraftlinien vertikal verlaufen. Da die Wassertröpfchen selbst negativ geladen sind, so werden sie eine verringerte Fallgeschwindigkeit zeigen, wenn die obere Kondensatorplatte positive, die untere negative Ladung trägt. Aus den so beobachteten Geschwindigkeiten der Wolke mit und ohne Feld, der Stärke des elektrischen Feldes zwischen den Kondensatorplatten, dem spezifischen Gewicht der Tröpfchen, der Beschleunigung der Schwere und dem Koeffizienten

der inneren Reibung der Luft kann man mit Benutzung einer von Stokes gegebenen Formel den Wert des Elementarquantums der Elektrizität berechnen; diese Methode wurde zuerst von H. A. Wilson angewendet und später von Bege- man und Millikan vervollkommen. Die letzt- genannten Beobachter erhielten bei diesen Ver- suchen, welche wegen der Unsicherheit in der Ge- schwindigkeitsmessung nicht sehr genau ausgeführt werden können, für das Elementarquantum der Elektrizität Werte zwischen $4,1$ und $4,9 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten.

Die beschriebenen Versuche sind nun durch Prof. Millikan in Chicago in den letzten beiden Jahren noch erheblich verbessert worden. Er beobachtete nicht die Bewegung einer ganzen Wolke, sondern die eines einzigen Flüssigkeitströpfchens mit Hilfe eines stark vergrößernden Fernrohres. Er verwendete Oeltröpfchen, welche sich wegen der geringen Dampfspannung des Oels stundenlang halten und deren Fallgeschwindigkeit durch oft wiederholte Versuche beliebig genau gemessen werden kann, wenn die Tröpfchen nach ihrer Abwärtsbewegung durch elektrische Kräfte stets von neuem gehoben werden. Die Ladung dieser Tröpfchen erfolgte durch Anlagerung von Gasionen, welche mit Hilfe eines starken Radiumpräparats erzeugt wurden.

Im allgemeinen befinden sich unter diesen Umständen auf einem Oeltröpfchen mehrere Elementarladungen und ihre Anzahl wechselt bisweilen im Laufe des Versuchs, aber darunter leidet die Genauigkeit der Messung nicht, weil die Gegenwart eines neuen Quantums sich sofort durch eine sprunghafte Aenderung der Geschwindigkeit im elektrischen Felde bemerkbar macht. Als Endergebnis der Milikanschen Versuche, welche auch von anderen Forschern wiederholt und bestätigt worden sind, kann der Wert des elektrischen Elementarquantums $e = 4,78 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten angesehen werden, ein Resultat, welches wohl auf eine Genauigkeit von 1 pCt. Anspruch erheben darf.

Mit derselben Genauigkeit aber, mit welchem das Elementarquantum der Elektrizität bestimmt ist, können daraus die übrigen atomistischen Daten hergeleitet werden. Wir haben gesehen, dass das Elementarquantum e mit der Loschmidtschen Zahl N in einer einfachen Zahlenbeziehung steht. Es ist nämlich $N = \frac{1,293 \times 10^{10}}{e}$, und wenn wir hier den von Millikan gefundenen Wert für e einsetzen, so ergibt sich $N = 2,71 \times 10^{19}$, in sehr befriedigender Uebereinstimmung mit dem aus der kinetischen Gastheorie hergeleiteten Werte $N = 3,0 \times 10^{19}$,

welchem indessen, wie schon oben hervorgehoben wurde, noch eine erhebliche Ungenauigkeit anhaftet.

So schön und befriedigend nun die Uebereinstimmung auch genannt werden muss, wir würden dennoch zögern, die Grundlagen des Atomismus und die Existenz des elektrischen Elementarquantums als völlig sichergestellt anzusehen, wenn uns die neuesten Forschungen nicht eine Reihe weiterer Bestätigungen gebracht hätten, welche, auf den verschiedensten Gebieten der physikalischen Wissenschaft liegend, in ihren Ergebnissen eine zahlenmässige Uebereinstimmung aufweisen, wie man sie kaum zu hoffen gewagt hat.

Zwei von diesen klassischen Untersuchungen, durch welche die zahlenmässige Bestimmung der Fundamentalgrössen des Atomismus neuerdings gelungen ist, können hier nur kurze Erwähnung finden. Die eine beruht auf der quantitativen Beobachtung der sogenannten Brownschen Molekularbewegung. Im Jahre 1827 machte der englische Botaniker Brown mit Hilfe des Mikroskops die merkwürdige Entdeckung, dass kleine feste Körperchen, welche in einer Flüssigkeit suspendiert sind, etwa wie die Farbstoffteilchen der chinesischen Tusche im Wasser, sich nicht in Ruhe befinden, sondern andauernd schnelle unregelmässige Bewegungen ausführen,

welche um so stärker ausfallen, je kleiner die suspendierten Teilchen sind. Auch in Gasen lässt sich die Brownsche Molekularbewegung an suspendierten Teilchen leicht beobachten. Diese Bewegung der Teilchen rührt, wie sich herausgestellt hat, von den unregelmässigen Stössen der bewegten Moleküle her, und man kann auf theoretischem Wege leicht beweisen, dass die mittlere kinetische Energie der suspendierten Teilchen der mittleren kinetischen Energie der umgebenden Flüssigkeits- oder Gasmoleküle gleich sein muss. Wenn es nun gelingt, die mittlere lebendige Kraft eines suspendierten Teilchens experimentell zu bestimmen, so ist damit auch die Energie eines einzigen Moleküls bei bekannter Temperatur gegeben, und man kann die übrigen atomistischen Daten unter ausschliesslicher Benutzung bekannter Grössen leicht daraus berechnen. Da jedoch die direkte Messung der kinetischen Energie der suspendierten Teilchen gewisse Schwierigkeiten bietet, hat man zur Erreichung des genannten Zieles einen etwas anderen Weg eingeschlagen, welcher auf einer ähnlichen Ueberlegung beruht. Nach den klassischen Versuchen Perrins ergab sich nach dieser Methode für die Loschmidtsche Zahl der Wert $N = 3,05 \times 10^{19}$, nach ähnlichen, unlängst veröffentlichten Versuchen Svedberg's $N = 2,79 \times 10^{19}$.

Sehr viel schwieriger in der theoretischen Herleitung und Begründung, aber viel genauer in der experimentellen Ausführung als die eben beschriebene Methode ist ein optisches Verfahren zur Bestimmung der atomistischen Daten, welches auf den Strahlungsgesetzen beruht. Als Endergebnis einer glänzenden Schlusskette, in welcher neben den Prinzipien der Elektrodynamik und Thermodynamik gewisse Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen eine Hauptrolle spielen, hat Max Planck eine Formel entwickelt, welche die Strahlung eines vollkommen schwarzen Körpers in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur für jede Wellenlänge eindeutig bestimmt. Diese Formel, welche durch die Erfahrung in vollkommenster Weise bestätigt wird, enthält eine Konstante k , welche nichts anderes ist als das Verhältnis der bekannten Gaskonstanten R zu der Zahl der Moleküle in einem Grammmolekül. Man braucht hiernach nur die Gaskonstante R durch den 22 400 fachen Wert der Konstanten k zu dividieren, um die Loschmidtsche Zahl zu erhalten. Die Konstante k lässt sich experimentell mit grosser Genauigkeit ermitteln, indem man sowohl die Gesamtstrahlung eines schwarzen Körpers, als auch seine Strahlungsintensität an einer bestimmten Stelle des Spektrums für verschiedene Temperaturen beobachtet. Die besten und zuverlässigsten Messungen

dieser Art haben für k den Zahlenwert $1,340 \times 10^{-16}$ ergeben, woraus für N die Zahl $2,77 \times 10^{19}$ folgt.

So hat sich auch in der Optik der Atomismus glänzend bewährt. Auf keinem Gebiet aber tritt uns die unbedingte Notwendigkeit seiner Einführung mit so zwingender Anschaulichkeit entgegen wie in der Radioaktivität. Durch Rutherfords Zerfallstheorie wurde mit einem Schlage in dem weitverzweigten Tatsachenmaterial der radioaktiven Beobachtungen Ordnung geschaffen und eine Richtschnur für weitere Forschung gegeben. Der im besten Sinne des Wortes revolutionäre Grundgedanke dieser Theorie besteht darin, dass die Unveränderlichkeit der Atome aufgegeben und die radioaktiven Erscheinungen als eine Folge intraatomistischer Vorgänge und Veränderungen angesehen werden. Wenn aber die innere Anordnung und der Massenbestand der Atome eine Veränderung erleidet, so findet die Umwandlung eines Elements in ein anderes statt, ein Ergebnis, dessen Unmöglichkeit bis dahin die wissenschaftliche Chemie zum Prinzip erhoben hatte.

Die drei verschiedenen Strahlenarten, welche infolge des Atomzerfalls von radioaktiven Stoffen ausgesandt werden, hat man bekanntlich als α -, β - und γ -Strahlen bezeichnet. Es gelang bald, die β - und γ -Strahlen mit bereits bekannten Strahlen-

arten zu identifizieren und zwar erwiesen sich die β -Strahlen mit schnellen Kathodenstrahlen, die γ -Strahlen mit harten Röntgenstrahlen identisch. Dagegen hatte man es bei den α -Strahlen offenbar mit einer neuen Strahlenart zu tun. Die Beobachtung ihrer elektrischen und magnetischen Ablenkung ergab, dass es positiv geladene Massenteilchen von der Grössenordnung der Körperatome waren. Rutherford hat durch eine Reihe sehr sorgfältiger Messungen nachgewiesen, dass bei allen α -Strahlen, gleichgültig von welchen radioaktiven Produkten sie ausgesandt werden, zwar die Geschwindigkeit innerhalb ziemlich weiter Grenzen variiert, dagegen das Verhältnis der Ladung zur Masse eines Teilchens stets dasselbe ist und genau den halben Wert hat, wie bei einem Wasserstoffion. Unter Berücksichtigung der Helmholtzschen Theorie der elektrischen Elementarquanta kamen hiernach für die Natur des α -Teilchens zwei Deutungen in Betracht. Entweder ist das α -Teilchen ein mit einer positiven Elementarladung versehenes Wasserstoffmolekül, oder ein mit zwei positiven Ladungen behaftetes Heliumatom. Diese offene Frage wurde durch die berühmten Versuche von Ramsay und Soddy entschieden, welche zeigten, dass Radium in geringen aber deutlich nachweisbaren Mengen Helium entwickelt. Das-

selbe ist heute für alle radioaktiven Stoffe nachgewiesen, welche α -Strahlen aussenden.

Zu den wunderbarsten Eigenschaften der α -Strahlen gehört die von Crookes entdeckte Erregung der Szintillation. Jedes α -Teilchen, welches einen Zinksulfidkristall oder einen Diamanten trifft, wird durch das Aufleuchten eines schwachen Lichtblitzes erkennbar. Diese Tatsache hat Regener zuerst benutzt, um die Zahl der von einem Poloniumpräparat in einer bestimmten Zeit ausgehenden, auf die abgegrenzte Fläche eines Diamanten auftreffenden α -Teilchen zu ermitteln. Ein zweiter Versuch wurde von ihm angestellt, um die Elektrizitätsmenge zu messen, welche von einem geometrisch scharf abgegrenzten α -Strahlenbündel desselben Präparats in einer gegebenen Zeit mitgeführt wird. Durch Kombination beider Versuche konnte er, wie leicht ersichtlich, die Ladung eines einzigen α -Teilchens bestimmen. Sie ergibt sich aus den Regenerschen Versuchen zu $9,58 \times 10^{-10}$ elektrostatischen Einheiten, also in der Tat genau gleich dem doppelten Wert des Elementarquantums, welches hiernach $4,79 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten betragen würde. Nach einer ähnlichen Methode, bei welcher aber die Zählung der α -Teilchen nicht auf optischem, sondern auf elektrischem Wege vorgenommen wurde, haben Rutherford

und Geiger für das Elementarquantum den Wert $4,65 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten erhalten. Für die Loschmidtsche Zahl N berechnet sich aus diesen Daten nach Regener $2,70 \times 10^{19}$, nach Rutherford und Geiger $2,78 \times 10^{19}$.

Aber die Grösse N lässt sich in noch direkterer Weise aus radioaktiven Beobachtungen ermitteln. Man braucht zu diesem Zweck nur die Zahl der ausgeschleuderten α -Teilchen nach der soeben beschriebenen Methode zu bestimmen und gleichzeitig das Volumen des entwickelten Heliumgases zu messen. Dividiert man die beobachtete Zahl der emittierten α -Teilchen durch das gemessene Volumen, so erhält man unmittelbar die Loschmidtsche Zahl N ; denn jedes α -Teilchen ist nach Abgabe seiner Ladung ein Heliumatom und zugleich ein Heliummolekül, weil Helium einatomig ist.

So einfach diese Methode aber auch auf den ersten Blick erscheinen mag, so bietet sie doch bei der Ausführung grosse Schwierigkeiten. Die stark radioaktiven Stoffe sind bekanntlich sehr kostbare Substanzen, über welche man nur in kleinen Mengen verfügen kann. Aber selbst ein ganzes Gramm Radium, welches nach dem heutigen Marktpreis einen Wert von nahezu einer halben Million Mark repräsentiert, entwickelt in einem Zeitraum von 6 Jahren weniger als ein Kubikzentimeter Helium

von 0° und 76 cm Quecksilberdruck. In Wirklichkeit ist der Experimentator gezwungen, mit viel geringeren Mengen und kürzeren Zeiträumen auszukommen. Es ist dann freilich eine ungemein sorgfältige Volummessung der geringen Heliummenge nötig, welche sich gebildet hat. Derartige Versuche sind von Dewar und mit besonderer Genauigkeit im letzten Jahre von Boltwood und Rutherford ausgeführt worden. Nach diesen Messungen entwickelt 1 g Radium pro Sekunde $4,95 \times 10^{-9}$ Kubikzentimeter Helium und es sendet in der gleichen Zeit $13,6 \times 10^{10}$ α -Teilchen aus. Die Zahl N ergibt sich hieraus zu $\frac{13,6 \times 10^{10}}{4,95 \times 10^{-9}} = 2,75 \times 10^{19}$.

Wir wollen zum Schluss die Ergebnisse der hier besprochenen Methoden zur Bestimmung der Loschmidtschen Zahl N und des Elementarquantums der Elektrizität e in Form einer Tabelle kurz zusammenstellen. Dieselbe enthält auch die Masse m eines Wasserstoffatoms, welche gleich dem reziproken Wert des 22400fachen Betrages von N ist, da 11200 ccm Wasserstoff unter Normalbedingungen ein Gramm wiegen und jedes Kubikzentimeter N Moleküle oder 2 N Atome enthält. Aus der Masse eines Wasserstoffatoms ergibt sich aber diejenige eines jeden Moleküls durch Multiplikation mit dem Molekulargewicht. Um in

den Spalten der Tabelle bequeme Zahlenreihen zu erhalten, sind die Werte von N , e und m mit entsprechenden Zehnerpotenzen multipliziert.

Methode	$N \times 10^{-19}$	$e \times 10^{10}$ in elektro- stat. Einh.	$m \times 10^{24}$ in Gramm
Kinetische Gastheorie (Daten der Kohlensäure) .	3,0	4,3 (angenähert)	1,5
Bewegung geladener Nebelwolken im elektrischen Felde und unter dem Einfluss der Schwerkraft. Nach H. A. Wilson, Millikan u. Begemann	3,2—2,6	4,1—4,9 (angenähert)	1,4—1,7
Bewegung geladener Oeltröpfchen, verbesserte Methode nach Millikan	2,70	4,78	1,65
Brownsche Molekularbewegung nach Perrin . .	3,05	4,24	1,46
Nach Svedberg	2,79	4,64	1,60
Plancksche Strahlungsformel ($c = 1,437 \text{ cm} \times \text{Grad}$, $\sigma = 5,54 \times 10^{-12} \text{ Watt}$)	2,77	4,68	1,61
Zählung der α -Teilchen und Strommessung nach Regener	2,70	4,79	1,65
Nach Rutherford und Geiger	2,78	4,65	1,60
Zählung der α -Teilchen und Messung des Heliumvolumens nach Rutherford und Boltwood	2,75	4,70	1,62

Wir sehen, dass alle diese Methoden, so grundverschieden sie sind, zu gleichen Zahlenwerten für die atomistischen Daten führen und dass der Grad der Uebereinstimmung nur noch eine Frage der erreichbaren Messgenauigkeit zu sein scheint. Wohl keiner Theorie ist jemals eine schwerere Belastungsprobe zugemutet worden, als sie der Atomismus gegenüber der Forschung der letzten Jahre zu bestehen hatte. Er ist daraus siegreich, aber doch in etwas veränderter Gestalt hervorgegangen. Das Atom ist für uns kein unvergänglicher

Elementarkörper mehr, sondern ein kompliziertes Gebilde, eine Welt im Kleinen, in welcher dauernde Veränderungen eintreten können und innerhalb deren sich die merkwürdigsten Vorgänge abspielen. Diese Vorgänge zu ergründen, wird eine der schwierigsten aber auch eine der wichtigsten Aufgaben der Zukunft bilden.

So bewährt sich auch hier der alte Satz, welcher allen Wissenschaften gemeinsam ist, dass jedes gelöste Problem, jede gewonnene Erkenntnis uns neue Aufgaben zuweist und neue Gebiete zeigt, welche der sichtenden und aufklärenden Arbeit des Forschers bedürfen. Unerschöpflich und unendlich wie Raum und Zeit dehnt sich vor uns das Bereich des Unerforschten. Auf keinem Gebiet wird uns jemals ungetrübte Klarheit und ein vollständiges Wissen beschieden sein. Aber diese Erkenntnis kann uns die Freude an der Forschung nicht verkümmern. Denn, wenn auch dem Menschen die Erreichung des letzten fernen Zieles versagt bleibt, so gewährt doch das Vorwärtsschreiten selbst eine hohe Befriedigung, und das Bewusstsein macht glücklich, dass jede neue Erkenntnis, auf welchem Gebiete sie auch gewonnen sein mag, zuletzt doch der ganzen Menschheit zum Wohle gereicht.
