

# Die neuere Entwicklung des Massenbegriffes.

Von L. Dressel S. J. in Valkenburg (Holland).

(Schluss.)

## II. Der Massenbegriff nach der Entdeckung der Elektronen.

Im Jahre 1816 schon hatte Faraday in einer Vorlesung, welche er in der City Philosophical Society zu London über die strahlende Materie (radiant matter) gehalten hat, auf die Möglichkeit eines verfeinerten Zustandes der Materie hingewiesen, „der über den des Dampfes ebenso weit hinausgeht, wie dieser über den flüssigen Zustand“. Wie er diesen vermuteten Zustand sich dachte, deuten die ferneren Aussagen an:

„er wüsche mit der lebhaftesten Ungeduld die Entdeckung eines neuen Zustandes der chemischen Elemente“. „Die Zersetzung der Metalle und ihre Wiederausammensetzung, die Verwirklichung des einst absurden Gedankens der Stoffverwandlung seien die Probleme, welche die Chemie zu lösen habe.“

In all den 51 Jahren seines späteren, an Erfolgen in der Chemie und Physik so überaus reichen Forscherlebens war es ihm nicht vergönnt, diesen sehnlichen Wunsch zu befriedigen. Erst in unseren Tagen ist man dieser Verwandlung auf die Spur gekommen. Nicht die Chemie, sondern die Physik sollte auf diese Spur hinführen, allerdings gerade jener Teil der Physik, welcher zu der Chemie in engster Beziehung steht, die elektrische Forschung. — Es sind vor allem zwei Tatsachengebiete, welche in dieser Richtung Aufklärungen brachten, die Elektrolyse und die elektrischen Entladungen in Gasen.

1. Elektrolyse nennt man die Abscheidung der chemischen Bestandteile eines zusammengesetzten Stoffes, des „Elektrolyten“, an zwei getrennten Stellen durch den elektrischen Strom. Diese Stellen befinden sich an den Berührungsflächen des Elektrolyten mit den Elektroden, d. i. den elektrisch leitenden Stoffen, durch die man den Strom einer galvanischen Batterie dem Elektrolyten zuführt, bzw. aus ihm wieder wegführt. Die Elektrolyse erzielt man am leichtesten in

Flüssigkeiten, z. B. in einer Kochsalzlösung, sie lässt sich aber auch in starren Körpern, z. B. in einem Glasstab und in Gasen, z. B. in der Luft, verwirklichen. Wesentliche Vorbedingung zum Eintritt der Elektrolyse ist das Vorhandensein von Ionen in dem Elektrolyten oder, was auf dasselbe hinauskommt, die „Dissoziation“ der Molekeln des Elektrolyten. Diese Dissoziation besagt eine spontan eintretende Spaltung der Molekeln in zwei Hälften, von denen die eine positiv, die andere negativ elektrisch geladen ist. Die Spaltungsprodukte werden Ionen genannt, weil sie während der Elektrolyse nach entgegengesetzten Richtungen durch den Elektrolyten hindurchwandern.

So oft man z. B. Kochsalz (Chlornatrium, NaCl) in Wasser löst, unterliegt der weitaus grössere Teil der Kochsalzmolekeln der Spaltung. Natrium-Ionen und Chlor-Ionen trennen sich von einander und werden frei beweglich. Infolge der unsichtbaren Bewegungen der kleinsten Körperteilchen, deren Energie die im Körper enthaltene Wärme ausmacht, wandern die Ionen innerhalb der Flüssigkeit von Ort zu Ort, ohne dass dabei irgend eine Bewegungsrichtung die Oberhand gewinnt. Bei den unausbleiblichen Zusammenstößen wird bald hier eine Molekel in Ionen zerlegt, bald treten dort getrennte Ionen wieder zur Molekel zusammen, es vollzieht sich ein unaufhörliches Wechselspiel von Trennung und Vereinigung. Dabei leidet jedoch die Zahl der vorhandenen Ionen im Laufe der Zeit keine Aenderung, zu einer bestimmten Temperatur und zu einer bestimmten Salzkonzentration gehört immer auch ein bestimmter Grad der Dissoziation.

Sobald die Stromelektroden in die Kochsalzlösung gesenkt werden, folgen die elektrisch geladenen Ionen den von den Elektroden her rührenden Anziehungen, die negativen Ionen (Anionen) gehen zur positiv geladenen Anode, die positiv geladenen Ionen (Kationen) zur negativen Kathode und geben dort ihre elektrischen Ladungen ab. In dieser doppelten Ionenwanderung besteht der elektrische Strom innerhalb des Elektrolyten.

2. Faraday hat 1834 den Nachweis geliefert, dass bei der Elektrolyse unter allen Umständen durch chemisch äquivalente Stoffmengen gleiche Elektrizitätsmengen an die Elektroden übergeführt werden. Damit ist aber auch der Beweis dafür erbracht, dass mit jedem chemischen Bindewert (Valenz) irgend eines Atomes immer dieselbe unveränderliche Elektrizitätsmenge transportiert wird. Diese Naturkonstante lässt sich berechnen und wurde gleich  $15,6 \cdot 10^{-20}$  Coulomb<sup>1)</sup> gefunden. Es wurde für diese Elektrizitätsmenge das besondere Wort „Elementarquantum“ geprägt. Im Hinblick auf die Konstanz der Ionenladungen

<sup>1)</sup> Coulomb ist die Bezeichnung für die Einheit der Elektrizität im praktischen Masssystem.

erachtete H. v. Helmholtz schon 1881 eine atomistische Auffassung der Elektrizität für ebenso notwendig wie die Annahme chemischer Atome wegen der Konstanz der chemischen Verbindungsgewichte. Heute wissen wir, dass diese Elementarquanta — wenigstens die negativen — auch von den Atomen ganz losgetrennt und in freier Bewegung auftreten. Wir werden hierauf sofort eingehender zurückkommen. Diese freien Elementarquanta sind es, die man nach einem Vorschlage Stoneys „Elektronen“ nennt. Die Aufklärungen über diese selbständigen Elektrizitätsminima, zu denen in allerletzter Zeit das Studium der elektrischen Vorgänge in den Gasen geführt hat, zeitigten auch eine Vertiefung in der Erklärung der Elektrolyse. Die elektrolytische Dissoziation der Molekeln, die wir oben besprochen haben, ist eine Folge der elektrischen Dissoziation der Metallatome.

Bleiben wir zur Erläuterung dieses Vorganges beim Beispiele des Kochsalzes stehen. Von dem Natriumatome löst sich zuerst ein locker gebundenes Elektron<sup>1)</sup> los. Weil dieses fester an dem Chloratom haftet als an dem Natriumatome, so geht es an das Chlor gebunden davon. So finden wir in der Kochsalzlösung neben Natrium-Jonen, die positiv elektrisch sind, weil ihnen ein Elektron fehlt<sup>2)</sup>, Chlor-Jonen, die negativ elektrisch sind, weil sie ein Elektron zu viel haben. Während der Elektrolyse werden von den Chloratomen die überschüssigen Elektronen an die Anode abgegeben, von den Natriumatomen aber Elektronen aus der Kathode aufgenommen und so beiderseits neutrale Atome gebildet. Durch den Leitungsdraht bewegen sich die Elektronen beständig von der Anode zur Kathode hinüber. Im Leitungsdraht besteht der elektrische Strom in der Bewegung freier Elektronen (Leitungsstrom), im Elektrolyten werden die Elektronen von den wandernden Atomen übertragen (Konvektionsstrom).

3. Freiexistierende Elektronen wurden zuerst in den Kathodenstrahlen erkannt, welche Hittorf 1869 entdeckt hat. Ihre wahre Natur wurde indessen erst aufgedeckt, nachdem H. Hertz 1892 kurz vor seinem Tode zur systematischen Prüfung dieser merkwürdigen Strahlen die Anregung gegeben hatte. Damals konnte man diese

---

<sup>1)</sup> Wir verstehen in der Folge unter „Elektron“ immer das negative Elementarquantum. Wie wir unten erfahren werden, kommt nur dieses frei beweglich vor und spielt deshalb in den elektrischen Erscheinungen die grösste Rolle. Das positive Elementarquantum kennen wir nur an das Anion gebunden.

<sup>2)</sup> Wir lassen es einstweilen noch unentschieden, ob die positive elektrische Ladung nur in diesem Defizit an Elektronen und in dem hierdurch bewirkten Zwangszustand des Atomrestes besteht oder auch noch in dem Wirksamwerden von positiven Elementarquanten, welche wegen der Lostrennung von Elektronen nicht mehr neutralisiert bleiben.

Strahlen sich nur in luftleer gemachten Glasröhren verschaffen, in deren geschlossene Enden Platindrähte als Elektroden eingeschmolzen waren. Ist die Luft in diesen Röhren millionenfach verdünnt, so gehen von der negativen Elektrode oder der Kathode geradlinige Strahlen aus, wenn man die Elektroden der Röhre mit den Polen eines Induktionsapparates verbindet und einen Induktionsstrom durch die Röhre leitet. Dort, wo die Strahlen auf die gegenüberliegende Glaswand einfallen, leuchtet das Glas in hellem gelbgrünem Fluoreszenzlichte. Ein Metallblättchen, das in den Gang der Strahlen gebracht wird, erzeugt auf der leuchtenden Wand einen scharf umrandeten Schatten. Die von den Strahlen getroffenen Flächen erleiden einen merklichen mechanischen Druck in der Richtung der Strahlen und werden stark erwärmt. Die Strahlen erteilen isolierten Metallen eine negative Ladung und entladen positiv geladene Körper. Lenard ist es auch gelungen, diese Kathodenstrahlen durch ein Aluminiumfensterchen, das er in der Wand der Röhre eingefügt hatte, in die äussere Luft übertreten zu lassen und dort einer mehr unbehinderten Untersuchung zu unterwerfen.

Während Hertz noch der Meinung gewesen war, die Kathodenstrahlen könnten wohl eine Schwingungserscheinung sein nach Art des Lichtes, gelang es späteren Forschern, auf das Bestimmteste darzutun, dass diese Strahlen einen Strom von negativ-elektrischen Teilchen darstellen, welche mit geringerer Geschwindigkeit als das Licht sich fortbewegen. Da nach den Versuchen von Rowland, Röntgen, Himstedt, Pender u. a. eine bewegte elektrostatische Ladung in allem einem Leitungsstrom gleichwertig ist, so müssen die Kathodenstrahlen, falls sie aus elektrischen Teilchen bestehen, einerseits die Wirkungen einer negativ elektrischen Ladung zeigen und andererseits auch diejenigen eines galvanischen Stromes. Beides ist in der Tat vollständig der Fall. Unter anderem erleiden die Strahlen durch elektrisch geladene Metallflächen oder durch die Einwirkung von Magneten genau die nach der Theorie zu erwartende Ablenkung von ihrer geraden Bahn.

Diese Ablenkungen wurden in den Jahren 1897—1901 durch J. J. Thomson, Kaufmann, Lenard, Wien, Simon, Wilson auf das genaueste studiert und gemessen. Es wurden auch die Elektrizitäts- und Energiemengen, welche durch die Strahlen in einer bestimmten Zeit an isolierte metallische Hohlkörper übertragen werden, sorgfältig festgestellt. Durch geeignete Kombination dieser Beobachtungsdaten wurde es möglich, die Geschwindigkeit der bewegten Teilchen und das Verhältnis zwischen der Elektrizität und der mit ihr verbundenen

„Masse“, d. i. die sogenannte „spezifische Ladung“, zu berechnen. Die Geschwindigkeiten der Teilchen ergaben sich sehr gross. Sie sind der Quadratwurzel der Entladungsspannung proportional, bei der Spannung von 10000 Volt beträgt sie 61000 km pro Sekunde, also etwa ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit. Wichert ist es 1899 gelungen, die ausserordentlich hohe Translationsgeschwindigkeit mittels eines geistreichen Verfahrens auch direkt zu ermitteln und so das Ergebnis der indirekten Methoden zu bestätigen. Die spezifische Ladung wurde bei allen Arten von Kathodenstrahlen übereinstimmend  $187 \cdot 10^6$  Coulomb pro Gramm gefunden.

Für die Wasserstoffionen, welche bei der Elektrolyse auftreten, ist das Verhältnis von Ladung zur Masse 96540 Coulomb pro Gramm, es ist dieses der höchste Wert, der bei Ionen vorkommt. Bei den Kathodenstrahlteilchen ist dieser Wert nach obigem nahezu 2000 mal grösser. Da nun J. J. Thomson<sup>1)</sup> durch direkten Versuch die Elektrizitätsmenge eines Kathodenstrahlteilchens mit der eines Elementarquantums übereinstimmend gefunden hat, so besitzt jedes der Teilchen eine 2000 mal kleinere Masse, als ein Wasserstoffatom, das leichteste aller Atome. Kathodenstrahlteilchen sind somit negative Elementarquanten, Elektronen mit minimaler Masse, die sich frei im Raum bewegen. Soll es also wirklich Stoffteilchen einer viel niedrigeren Ordnung als die chemischen Atome geben? Bei Diskussion dieser Frage gelangten die Physiker auf die andere: Ist denn das Massenminimum, das man an dem Elektron bestimmt hatte, überhaupt eine wirkliche Masse, so wie wir uns dieselbe in der Mechanik vorstellen?

4. Das, was man bei den obenerwähnten Ablenkungen der Kathodenstrahlen eigentlich gemessen hatte, war nur die Grösse eines Trägheitswiderstandes, welchen die bewegten Teilchen der ablenkenden

---

<sup>1)</sup> Thomson (Philosophical Magazine, London [6] 7, 346) u. Wilson (Ebenda. 429) haben eine äusserst interessante Methode ausgearbeitet, welche die Ladung eines Elektrons mit derjenigen eines Wasserstoffions experimentell vergleichen lässt. Dieselbe stützt sich auf die Tatsache, dass die Ionen in feuchter Luft die Ansatzkerne zur Bildung von Nebeltröpfchen abgeben. Die an und für sich ganz unsichtbaren Ionen werden hierbei durch die Umhüllung mit Wasserschichten dem Auge wahrnehmbar. Ihre Zahl und Grösse lässt sich genau bestimmen. Ebenso kann man die Gesamtladung in den gebildeten Tröpfchen messen. Endlich gelingt es auch, die negativen Tröpfchen von den positiven abzusondern und für sich allein zu untersuchen, weil bis zu einem gewissen Grade der Abkühlung der Luft durch Expansion die Tröpfchen sich nur an die negativen Ionen ansetzen. — Diese Methode liefert uns, das sei hier nur nebenbei bemerkt, einen experimentellen Beweis für die gesonderte Existenz der Atome und Elektronen.

Kraft entgegensetzten. Wo es sich um rein mechanische Vorgänge handelt, pflegt man allerdings die Grösse des Trägheitswiderstandes immer gleich dem Massenwerte zu setzen, da, wie wir früher sahen (131), sowohl die Masse, als dieser Widerstand durch  $F/A$  gegeben wird. Hier nun, wo es sich um die Beschleunigung elektrischer Teilchen handelt, liegt die Sache etwas anders. Es setzt nämlich auch die Elektrizität einer jeden Bewegungsänderung eine Kraft entgegen, die in allem dem Trägheitswiderstand analog ist, und doch schreibt man deshalb der Elektrizität keine mechanische Masse zu.

Nehmen wir z. B. eine kreisförmige, weite Drahtspule, dessen Drahtenden leitend mit den Polen eines empfindlichen Galvanometers verbunden sind, und drehen wir die Spule dann derart um eine Achse herum, dass die terrestrischen magnetischen Kraftlinien<sup>1)</sup> abwechselnd nach einander erst senkrecht und dann parallel zu den Kreisebenen der Spule sind, so entstehen, wie das Galvanometer beweist, hin und her wogende Stromstösse (Induktionsströme) in der Spule. Es werden dabei, wie wir das heute aufzufassen haben, die Elektronen bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne innerhalb der Drahtwindungen verschoben. Bei dieser Drehung hat nun die drehende Hand einen grösseren Widerstand zu überwinden, als in dem Falle, wo bei gleich schneller Drehung keine Induktionsströme entstehen. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn wir die Spule um eine Achse drehen, die parallel ist zu den Kraftlinien, dann ist der Trägheitswiderstand ausschliesslich ein mechanischer. Der Mehrbetrag an Widerstand, welcher sich bei der ersten Art der Drehung äussert, ist genau messbar und erweist sich äquivalent der elektromotorischen Kraft, welche die Elektronen im Drahte beschleunigt. Er unterscheidet sich in seiner Wirkung nach aussen in nichts von dem rein mechanischen Widerstand, seiner inneren Ursache nach ist er jedoch etwas ganz anderes. Denn er besagt eine nachweisbare und genau definierbare Wechselwirkung zwischen der in Bewegung gesetzten Elektronenmenge und dem Aether in der Umgebung des Drahtes, während wir von einer ähnlichen Beziehung zwischen der nur mechanisch bewegten Spule und ihrer Umgebung nichts wissen.

Um zu entscheiden, inwieweit die gefundene „Masse“ der Kathodenstrahlteilchen elektrischer Natur sei, bestimmte Kaufmann<sup>2)</sup> sehr genau die Grösse des elektrischen Widerstandes („Selbstinduktion“), welche die Kathodenstrahlen bei der beobachteten Ablenkung nach der Theorie zeigen mussten, und fand ihn in der Tat gleich dem ganzen Betrag des Widerstandes bzw. der Masse, welchen verschiedene Physiker übereinstimmend gemessen hatten. Für eine Masse im gewöhnlichen mechanischen Sinne bleibt also nichts übrig. In den

<sup>1)</sup> Es sind dieses die Richtungslinien der magnetischen Kraft in dem magnetischen Felde der Erde.

<sup>2)</sup> Göttinger Nachrichten (1901) 143, (1902) 291.

Kathodenstrahlen bewegen sich massenlose Elementarquanten, reine freie Elektronen.

Dieser Schluss sollte alsbald eine Bestätigung finden. Nach der von Abraham <sup>1)</sup> entwickelten Theorie der Bewegung eines Elektrons, muss sein elektrischer Trägheitswiderstand mit der Geschwindigkeit veränderlich sein. Diese Aenderung wird indessen erst bei Geschwindigkeiten merklich, welche derjenigen des Lichtes (300 000 km in 1 Sekunde) nahe kommen. Nachdem man in der Strahlung der vor kurzem entdeckten radioaktiven Stoffe auch Kathodenstrahlen von sehr verschiedenen Durchdringungsvermögen nachgewiesen hatte, wandte sich Kaufmann <sup>2)</sup> sofort dem Studium auch dieser Strahlen zu. Dem Grade des Durchdringungsvermögens läuft nämlich die Geschwindigkeit der Elektronen parallel. Er kam zu dem Ergebnis, dass in der Tat die „elektrische Masse“ des Elektrons rasch mit seiner Geschwindigkeit wächst, sobald diese der Lichtgeschwindigkeit sich nähert. Für Elektronen, deren Geschwindigkeit etwa neun Zehntel der Lichtgeschwindigkeit betrug, sank das Verhältnis zwischen Ladung und Masse sogar auf die Hälfte des gewöhnlichen Betrages, hatte somit die Masse bzw. der Trägheitswiderstand einen doppelt so hohen Wert erreicht. Den mechanischen Trägheitswiderstand betrachtet man aber für unveränderlich.

5. In den Vakuumröhren tritt neben den Kathodenstrahlen noch eine andere Art von Strahlen auf. Goldstein hat dieselben 1886 entdeckt und Kanalstrahlen genannt. Sie bestehen aus positiv geladenen Teilchen, die bei 30000 Volt mit einer Geschwindigkeit von 150 000 km in einer Richtung sich bewegen, die derjenigen der Kathodenstrahlen entgegengesetzt ist. In ihnen ist das Verhältnis der Ladung zur Masse rund 90 000 Coulomb pro Gramm. Hiernach können diese Teilchen keine freien positiven Elementarquanten sein. Wegen der grossen Masse sind sie für Atome anzusehen, welche infolge der Abtrennung eines oder mehrerer Elektronen eine positive Ladung angenommen haben, also für gewöhnliche Ionen.

Das Auftreten freier Elektronen ist nicht an die Vakuumröhren gebunden. Sie gehören, wie wir heute wissen, zu den gewöhnlichsten Vorkommnissen, lassen sich aber nur mittels der feinen Beobachtungsmittel, welche der Physiker erst seit kurzem besitzt, zur Wahrnehmung bringen. Die kurzwelligen Lichtstrahlen locken aus Metallen und Isolatoren Kathodenstrahlen hervor, die überall verbreiteten radioaktiven Stoffe senden ganz von selbst und ohne Unterlass solche Strahlen und damit freie Elektronen aus. Es kann daher nicht befremden, wenn wir Elektronen immer in der atmosphärischen Luft antreffen.

<sup>1)</sup> Göttinger Nachr. (1902) 20. Physikal. Zeitschr. (1902) 57. Annalen der Physik X 105 (1903)

<sup>2)</sup> Physikal. Zeitschr. (1902) IV 54.

6. Freie Elektronen bilden auch die Quelle der Lichtemission, und auf diesen wichtigen Punkt müssen wir etwas näher eingehen. Nachdem Maxwell an Stelle der bisherigen Lichttheorie Fresnels, nach welcher die Lichtschwingungen elastische Schwingungen sein sollten, eine elektromagnetische Theorie gesetzt hatte, und als dann die letztere durch die klassischen Experimente von Hertz und seiner Nachfolger eine gesicherte experimentelle Grundlage erhalten hatte, zweifelt heute kein Physiker mehr daran, dass die Lichtwellen elektrische und magnetische Wellen sind. Die äusserst abstrakte mathematische Theorie Maxwells, welche jede bestimmte Annahme über den materiellen Träger der Schwingungen und Wellen sorgfältig vermied, konnte nur so lange genügen, als es sich um Erscheinungen im Aether handelte, sie versagte aber, sobald Vorgänge in Frage kamen, an denen auch die wägbare Materie sich beteiligte, wie bei der Emission, Absorption und Dispersion des Lichtes. Die Theorie bedurfte für diese Erscheinungen einer Umbildung auf Grund konkreterer und speziellerer Vorstellungen über die elektrodynamischen Vorgänge. Es war der holländische Physiker Lorentz<sup>1)</sup>, der zuerst den glücklichen Gedanken fasste, ausser dem Aether noch Atome und Elektronen in seine erweiterte Theorie einzuführen. Indem er nur die negativen oder die positiven Elektronen an den Lichtschwingungen sich beteiligen liess und die durch die bewegten Elektronen erzeugten elektrodynamischen Kräfte berücksichtigte, gelangte er zu einer Theorie des Lichtes, die auch die Erscheinungsgebiete umfasst, von welchen die Maxwell'schen Gleichungen keine Rechenschaft zu geben vermochten. Sie liess auch ganz bestimmte Einwirkungen des Magnetfeldes auf die Lichtschwingungen voraussehen und vorhersagen. Zeemann, ein Schüler von Lorentz, hat dieselben auch bald darauf durch Experimente vollauf bestätigen können.

Ein Elektron, das in kreisförmiger Bahn schwingt und dabei elektrische bzw. Licht-Wellen in den Raum hinaussendet, muss durch magnetische Kräfte eine Aenderung seiner Bewegung erfahren. Sind die Kraftlinien senkrecht zur Ebene der Schwingungsbahn, so wird die Bewegung entweder beschleunigt oder verzögert und damit die Schwingungsperiode des Elektrons verkleinert oder vergrössert, und so die Art der Lichtschwingungen geändert. — Für gewöhnlich wird das Elektron in elliptischer Bahn schwingen. Dann kann man an deren Stelle zwei mit derselben ganz gleichwertige, kreisförmige Schwingungen setzen,

<sup>1)</sup> H. A. Lorentz, Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen (Leiden 1895). H. A. Lorentz, Ergebnisse und Probleme der Elektronentheorie (Berlin 1905) und Enzyklopädie der math. Wissenschaften (1904) V 145.

in denen die Elektronen entgegengesetzt, d. i. in der einen nach rechts, in der anderen nach links umlaufen, und deren Bahndurchmesser in einem einfachen Verhältnisse zu den Halbachsen der Ellipsenbahn stehen. Diese beiden Kreisbewegungen werden in einem magnetischen Felde mit Kraftlinien, die senkrecht zu den Schwingungsebenen sind, in entgegengesetztem Sinne beeinflusst, die eine wird verlangsamt, die andere beschleunigt. Aus Licht von einer Schwingungsperiode entsteht Licht mit zwei Perioden, also zwei Lichtarten mit verschiedenen Wellenlängen und von verschiedener Brechbarkeit. — Bekanntlich sendet ein leuchtendes Gas Strahlen von einigen wenigen bestimmten Lichtarten aus und nicht wie die glühenden starren Körper Licht von allen Schwingungsperioden. Während deshalb das Spektrum der letzteren ein ununterbrochenes, in allen Farben glänzendes Lichtband darstellt, besteht das Spektrum eines Gases aus einzelnen farbigen Lichtlinien, den Spaltbildern der einzelnen Lichtarten, die entsprechend ihrer verschiedenen Brechbarkeit mehr oder weniger von einander abstehen. — Ist die Theorie von Lorentz richtig, so müssen die Linien unter der Einwirkung eines magnetischen Feldes auf die Lichtquelle unter Umständen gespalten oder anderswie geändert werden. Zeeman erhielt die ersten deutlichen Veränderungen des Spektrums bei der Untersuchung des Cadmiumdampfes, dessen Spektrum eine sehr scharfe, einzeln stehende blaue Linie aufweist. Bringt man diesen Dampf zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten zum Leuchten und analysiert man dann das Licht, das in der Richtung der Kraftlinien sich fortpflanzt, mittels eines Rowlandschen Bewegungsgitters, so findet man statt der blauen Linie, die vor der Magnetisierung aufgetreten war, zwei neue, die zu beiden Seiten der früher vorhandenen Linie, und zwar gleich weit entfernt, sich eingestellt haben. Erforscht man mit dem Polarisationsapparate die Schwingungsrichtung im Lichte dieser beiden Linien, so erkennt man, dass sie in beiden kreisförmig, in der einen links-, in der anderen rechtsläufig ist. Das Licht der magnetisch nicht beeinflussten gewöhnlichen Linie ist, wie auch sonst das gewöhnliche Licht, unpolarisiert, d. h. ohne dominierende Schwingungsrichtung. Wir haben in obigem den einfachsten Fall magnetischer Einwirkung erläutert. Je nach der verschiedenen Orientierung der magnetischen Kraftlinien und der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes müssen der Theorie zufolge eine ganze Reihe anderer, zum Teil höchst komplizierter Änderungen herauskommen. So erhielt Zeeman, als er das Cadmiumlicht, das senkrecht durch die Kraftlinien ging, analysierte, statt der einen Linie deren drei, die mittlere an der Stelle der ursprünglichen Linie und von den beiden neuen gleich weit entfernt. Das Licht aller drei Linien ist geradlinig polarisiert, in der Mittellinie schwingt es geradlinig, parallel zu den Kraftlinien, in den beiden anderen senkrecht zu denselben. Auch für diesen und alle minder komplizierten Fälle gibt die Lorentzsche Theorie sofort eine glatte, vollständige Erklärung. Im Hinblick auf die überraschende Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung bis ins kleinste Detail kann an der hohen Brauchbarkeit der theoretischen Voraussetzungen nicht mehr gezweifelt werden. — Selbstverständlich sind die Zeemanschen Versuche in der Folge von anderen wiederholt und bestätigt worden, neuestens noch durch Gehrke und O. von Bayer (Physikal. Zeitschrift [1906] VII 905).

Zeemann hat hierauf die von ihm vorgenommenen Beobachtungen und Messungen zu Rückschlüssen auf die Elektronen und ihre Bewegung verwertet. Aus den bekannten Eigenschaften des magnetischen Feldes und aus der gefundenen Rotationsrichtung der neuerzeugten, kreisförmig polarisierten Lichtstrahlen konnte er das Vorzeichen der schwingenden Elektronen sicher feststellen. Er fand es immer negativ, die Lichtschwingungen rühren also nicht von der Bewegung positiv elektrischer Teilchen her. Zweitens konnte er mit genügender Annäherung das Verhältnis zwischen Ladung und „Masse“ ableiten. Es ergab sich mehr als 1000 mal so gross als für die Wasserstoffionen. Es konnten deshalb nicht Ionen das Licht erzeugen, sondern nur freie Elektronen, die so lose an die Atome gebunden sein müssen, dass sie frei schwingen können, während der positive Atomrest relativ unbeweglich bleibt. Wir dürfen hiernach die neutralen Atome aus zwei Teilen bestehend betrachten, aus einem Teile, dem Kern, dessen Ladung im Ganzen positiv ist, und aus einem oder mehreren Elektronen, die um den positiven Kern kreisen, etwa wie die Trabanten um einen Planeten, und durch die elektrische Anziehung in ihren Bahnen festgehalten werden.

Auf die hohe Bedeutung der Elektronen für die Stoffkonstitution weisen auch die radioaktiven Stoffe hin. Wir haben schon darauf aufmerksam gemacht, dass diese seltsamen Stoffe ohne Unterlass Kathodenstrahlen, d. i. Ströme von Elektronen, aussenden. Gleichzeitig werden von ihnen in den sogenannten  $\alpha$ -Strahlen positive Ionen abgeschleudert, und vollzieht sich im Innern ihrer Masse eine langsame substanzielle Verwandlung ganz eigener Art. Aus Elementen von sehr hohem Atomgewicht gehen andere mit geringeren Atomgewichten hervor, so geht Uranium in Radium und dieses wieder in eine ganze Reihe neuer Derivate über, Helium ist das leichteste der Verwandlungsprodukte.

7. Nachdem man in den Elektronen selbständige Teilchen kennen gelernt hatte, die, ohne eine Masse in dem bisherigen Sinne zu besitzen, sich genau so verhalten, als ob sie eine solche besässen, lag es nahe, weiter zu überlegen, ob denn nicht auch das, was man bisher für die mechanische Masse der Körper gehalten hatte, ebenfalls nur die Folge der elektrischen Selbstinduktion sein könne, mit anderen Worten, ob nicht aller Stoff nur aus massenlosen elektrischen, positiven und negativen Elementarquanten oder Elektronen bestehen könne. Diese Frage ist gewiss nicht unnütz. Denn wiewohl wir die mechanische Masse genau definieren können, so ist doch der objektive Inhalt der Definition unserem Verständnis noch ein Geheimnis geblieben. Das, wodurch wir die Masse definieren, ist eben schliesslich

nur der von ihr geleistete Trägheitswiderstand. Dieser ist uns aber nur in seiner Wirkung bekannt, nicht aber in sich selbst. Könnten wir obige Frage bejahend beantworten, so würde der Massen- und Trägheitsbegriff zwar nicht vollständig aufgehellt, aber unserem Verständnis doch näher gebracht. Die Masse würde zu einem Aggregat aus positiven und negativen Elektronen, der Trägheitswiderstand zur Selbstinduktion, deren gesetzmässiges Verhalten uns aus der Elektrizitätslehre ganz geläufig ist. Die ganze materielle Welt gewänne vor unserem geistigen Blicke auf einmal ein ganz anderes, uns viel besser bekanntes Aussehen. In alle Naturerscheinungen käme die grösste Einheit, alle Zweige der Physik würden zu Spezialgebieten der einen Elektrizitätslehre. Die unverkennbare Wichtigkeit dieser Sache bewog die besten unserer Physiker, einen Lord Kelvin, Lorentz, Drude, Plank, W. Wien, J. J. Thomson, Lenard, Kaufmann, Riecke, seit 1902 ihren Scharfsinn, ihre mathematische Gewandtheit, ihr reiches Wissen aufzubieten, um über die Möglichkeit einer aus Elektronen bestehenden Welt sich zu vergewissern. Auf der letzten Naturforscherversammlung in Stuttgart wurde dieser Gegenstand in drei Vorträgen von Plank, Witte und Reinganum besprochen und nachher diskutiert. — Das Unternehmen ist schwierig und es darf uns nicht wundern, wenn seither ein greifbares Resultat nicht erzielt worden ist, wiewohl man auf verschiedenen Wegen auf das Ziel losgesteuert ist.

8. Zur Konstruktion einer elektrischen Welt sind die positiven und negativen Elektronen und der Aether als Rohmaterialien gegeben. Aus ihnen gilt es, zunächst die Atome der Elemente planmässig zu Bausteinen zu formieren. — Hierbei ist erstens festzuhalten, dass jedes Elektron ein elektrodynamisches Individuum darstellt. So wie jede elektrische Ladung erfahrungsgemäss ein elektrisches Kraftfeld in dem umgebenden Aether als Begleiterscheinung verlangt, so gehört auch zu jedem Elektron ein Aethergebiet, das sich im Zustand elektrostatischer Spannung befindet und den eigentlichen Sitz der elektrischen Kräfte des Elektron bildet. Wenn das Elektron in Bewegung versetzt wird, ändert sich sein Kraftfeld, an die Stelle der elektrostatischen Kräfte treten elektromagnetische, statt der elektrischen Energie bekommen wir elektromagnetische. Zweitens ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die neutralen Atome aus zwei Teilen bestehend gedacht werden müssen, in welche sie sich erfahrungsgemäss unter gewissen Umständen von selbst spalten, aus negativen Elektronen

und einem positiven Atomrest, in welchem der eigene Charakter des chemischen Elementes und dessen spezifische Eigenschaften grundgelegt sind. Dieser Atomrest bietet, wie wir oben erfahren haben, einen nahezu 2000 mal grösseren Trägheitswiderstand als ein freies Elektron. Wenn man allen Trägheitswiderstand elektrisch erklären will, so hat man deshalb die Zahl der Elektronen gleich 2000 zu setzen und im neutralen Atom die eine Hälfte positiv, die andere negativ zu nehmen. Im positiven Atomrest wiegen die positiven Elektronen vor, weil ein Teil der negativen abgetrennt worden ist<sup>1)</sup>. — Die Zahl der Möglichkeiten, aus den Elektronen passende Atomsysteme zusammenzustellen, ist eine unabsehbar grosse. Nur eine wird jedoch der Wirklichkeit entsprechen. Gerade diese herauszufinden, ist ein wahres Glückspiel, und deshalb bleibt vorerst nichts übrig, als zu probieren. An Versuchen hat es denn auch so wenig gefehlt, dass Witte auf der Naturforscherversammlung zu Stuttgart vor einer Ueberproduktion zu warnen sich veranlasst sah. Wir wollen nur einen dieser Versuche kurz andeuten, um dem Leser zu zeigen, wie man dabei vorgeht. Er rührt von J. J. Thomson her, einem der eifrigsten Arbeiter auf diesem Gebiete:

Thomson<sup>2)</sup> wählt zum Atommodell eine Kugel aus räumlich verteilter, positiver Elektrizität. Innerhalb der Kugel kreisen, zu konzentrischen ebenen Ringen angeordnet, negative Elektronen<sup>3)</sup>. Die Kräfte, die ins Spiel kommen, sind 1. die zentrale Anziehung der positiven Elektrizität, welche jedes Elektron in dem Mittelpunkt zu bewegen sucht, 2. die Zentrifugalkraft eines jeden Elektrons, 3. die gegenseitige Abstossung der Elektronen. Die Masse des Atomes (Atomgewicht) wird durch die Massensumme der kreisenden Elektronen gegeben. Indem er nun untersuchte, welche ringförmige Elektronenaufstellungen ein stabiles Gleichgewicht ermöglichen, gelang es ihm, die Bedingungen für die

<sup>1)</sup> Mehrere Physiker suchen die grössere elektromagnetische Masse dadurch zu gewinnen, dass sie das positive Elektron auf einen kleineren Raum einengen. Nach der elektrischen Theorie wächst nämlich die Masse umgekehrt wie das Volumen. Diese Auffassung dürfte jedoch zu mehr Bedenken Anlass geben, als die oben angedeutete.

<sup>2)</sup> Philosophical Magazine (1904) (6) 7, 237. Vgl. die Vorträge von R. Lang, Elektrotechn. Zeitschr. (1906) XXVII 1031.

<sup>3)</sup> Die Einführung der positiv elektrischen Kugel und die Anordnung der Elektronen ist nur eine sogenannte „Arbeitshypothese“, d. i. eine willkürliche vorläufige Annahme, durch die man hofft, im Laufe der Entwicklung der Theorie zu einer besseren, objektiv mehr begründeten Vorstellung zu gelangen. Ueber die Möglichkeit oder gar Wahrscheinlichkeit der kugelförmigen Elektrizität mit ihren Elektronen wird nichts ausgesagt. Bei der Wahl gerade dieser nicht sehr wahrscheinlichen Form war die leichtere mathematische Behandlung ausschlaggebend.

stabile Bewegung beliebig vieler Elektronen abzuleiten. Es stellte sich auch ein Zusammenhang heraus zwischen den stabilen Anordnungen und den tatsächlichen Eigenschaften der chemischen Elemente. Man gelangt nämlich so zu Reihen, welche auffallend an die periodischen Reihen Mendelejeffs erinnern. Stabil ist z. B. ein Atom mit 3 Elektronen in gleichseitiger Dreieckstellung. Wird dieser Ring von einem grösseren aus 8 Elektronen umgeben, so ist das System mit 11 Elektronen wieder stabil. Auf dieses folgen stabile Atome mit  $3+8+13=24$ , mit  $3+8+13+16=40$ , mit  $3+8+13+16+20=60$ . Wir bekommen so eine Reihe, die mit den Vertikalreihen Mendelejeffs die grösste Aehnlichkeit besitzt, z. B. mit der Reihe:

Ba (9),	Mg (24),	Ca (40)	Zn (65)
Differenz: 13	16	25	

Diese Vertikalreihen umfassen bekanntlich Elemente mit gleichen Gruppeneigenschaften und gleicher Wertigkeit.

Zu Reihen, die den Horizontalreihen entsprechen, kommt man, wenn jene stabilen Anordnungen zusammengestellt werden, welche gleich viele Elektronen im äusseren Ring enthalten. Thomson führt dafür das folgende Beispiel an. Es gibt 9 Anordnungen, bei denen im äusseren Ring immer 20 Elektronen auftreten, im Inneren aber zur Sicherung der Stabilität je 4 kleinere Ringe mit verschiedenen Elektronenzahlen vorhanden sind. In dem leichtesten Atom enthalten letztere  $16+13+8+2$ , beim schwersten  $17+15+10+5$  Elektronen. Die Gesamtzahl der Elektronen schwankt in diesen 9 Atomen nur zwischen 59 und 67. Dieselben entsprechen etwa der Mendelejeffschen Horizontalreihe:

He (4), Li (7), Be (9), B (11), C (12), N (14), O (16), F (19), Ne (20), die verschiedenen Elementengruppen angehören.

Noch inniger ist der Zusammenhang mit den Atomspektren. Neuestens hat Stark<sup>1)</sup> aus den spektroskopischen Untersuchungen der Kanalstrahlen den Schluss gezogen, dass die Lichtschwingungen der Linienspektren von Elektronen ausgehen, welche in den positiven Atomionen enthalten sind. Andererseits ist aus den spektroskopischen Studien von Balmer, Kayser, Runge, Rydberg u. a. bekannt, dass die Linienreihen der Elemente einerseits unter sich gesetzmässig angeordnet sind und andererseits eine ausgesprochene Beziehung zu dem chemischen Charakter der Elemente erkennen lassen. In fast allen gut bekannten Atomspektren hat man drei Serien von Linien, eine Hauptserie und zwei Nebenserien nachgewiesen. Ferner sind bei allen Elementen, ausser dem Wasserstoff, die einzelnen Linien wieder in zwei („Dublets“) oder in drei („Triplets“) gespalten. Alles dieses deutet offenbar auf eine gesetzmässige Struktur im leuchtenden Atom hin. In Thomson's Atom ist jedes kreisende Elektron, nach dem, was wir oben erklärt haben, der Ausgangspunkt bestimmter Lichtschwingungen. Sind in einem Ring  $p$  Elektronen vorhanden, so ist die Schwingungszahl des von ihm ausgehenden Lichtes  $pw/2\pi$ , wenn  $w$  die Winkelgeschwindigkeit des Elektrons ist. Kommen mehrere Ringe in dem Atome vor mit  $n, n_1, n_2 \dots$  Elektronen, so wird das Atom eine den Ringen entsprechende Zahl von Lichtarten aussenden, und sein Spektrum eine Serie aus ebenso vielen Linien enthalten. Alle Atome aber, die gleichfalls  $n, n_1, n_2 \dots$  Elektronen in ihren Ringen

<sup>1)</sup> Physikal. Zeitschr. (1905) VI 892, VII 249 und 251.

haben, werden Serien von übereinstimmendem Charakter liefern müssen. Das ist denn auch tatsächlich in den Spektren der Vertikalreihen, z. B. der Alkalimetalle, beobachtet worden.

Thomsons Atome lassen endlich auch die Erscheinungen der radioaktiven Stoffe deuten. Die Stabilität des Atoms verlangt, dass die Umlaufgeschwindigkeit unter einen gewissen Wert nicht hinabsinke. Wenn dieses geschieht, erfolgt ein Zerfall des Systems. Unter Abschleuderung von Elektronen ( $\beta$ -Strahlen) und explosionsartiger Erschütterung des Aethers ( $\gamma$ -Strahlen) entstehen einfachere stabilere Atomsysteme. Dass ein solches Unstabilwerden mit der Zeit von selbst sich einstellen, und dann der Umbau in andere Atome lange Zeit andauern könne, ist unschwer zu begreifen. Denn jedes Elektron strahlt in den von ihm ausgehenden Wellen fortwährend Energie aus. Für gewöhnlich dürfte die Ausstrahlung durch Einstrahlung kompensiert werden. Am ehesten dürfte die Kompensation bei den elektronenreichen, also bei sehr schweren Atomen, ungenügend sein. Bei den schwersten Atomen Uranium, Radium, Thorium stellt sich denn auch nur die Radioaktivität ein. In allen Fällen ist aber der Energieverlust durch Ausstrahlung minimal. Es ist nach Thomson für das Elektron in einer Sekunde gegeben durch  $2e^2 A^2 / 3v$ , worin  $e$  die Elektrizitätsmenge,  $A$  die zentripetale Beschleunigung,  $v$  die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Liegen mehrere Elektronen im Ring, so nimmt der Strahlungsverlust mit der Elektronenzahl ausserordentlich schnell ab. Thomson findet ihn in einem Ringe mit 6 Elektronen schon millionenmal geringer als für 1 Elektron. Beachten wir, dass schon in dem leichtesten Wasserstoffatom gegen 1000 Elektronen angenommen werden müssen, so kann es nicht mehr befremden, wenn wir erfahren, dass die totale Verwandlung des Uranium viele Millionen Jahre erfordert.

9. So unfertig und problematisch die von Thomson und anderen ausgedachten Atommodelle heute auch noch sind, so lässt sich doch nicht verkennen, dass dieselben höchst geeignet sind, uns mit der Zeit eine bessere Einsicht in die Körperkonstitution und in den Zusammenhang derselben mit den Eigenschaften der Elemente zu eröffnen. — Zur richtigen Würdigung des dermaligen Standes der Elektronenforschung haben wir noch einen Umstand ins Auge zu fassen. Es enthalten nicht nur die eben erwähnten hypothetischen Vorstösse ins Reich der Elektronen viel des Unbestimmten und Zweifelhaften, es harren auch wichtige fundamentale Vorfragen noch ihrer definitiven Entscheidung. Bis zur Stunde ist es nicht gelungen, eine sichere abgeschlossene Theorie der Bewegung eines einzigen Elektrons aufzustellen<sup>1)</sup>. Es ist ferner die leidige Aetherfrage noch nicht gelöst. Wenn auch heute wohl alle Physiker die Fernkräfte verwerfen und deshalb die Notwendigkeit des Aethers zur Uebermittelung der Kraftwirkungen anerkennen, so ist doch der Aether selbst uns eine verhüllte Sphinx geblieben. Ist er stetig, oder geteilt? Ist das Aether-

<sup>1)</sup> Physikal. Zeitschr. VII 759.

meer ruhig oder bewegt? Führen die bewegten Körper den Aether mit sich, oder lassen sie ihn unbeeinflusst liegen? Der Aether spielt bei der Bewegung des Elektrons eine grosse Rolle, und deshalb ist eine Antwort auf obige Fragen von hoher Bedeutung. Schliesslich herrscht noch ziemliches Dunkel über die positive Ladung oder positive Elektrizität. Existieren wirklich ebenso positive Elektronen, wie negative? Warum treten die ersteren nirgendwo in freiem Zustande auf, sondern immer nur ans Atom gebunden? Das negative Elektron existiert allerdings, manche seiner Eigenschaften sind sicher erkannt. In ihm ist die negative Elektrizität verkörpert. Doch wie haben wir uns dieses vorzustellen? Das Elektron ist über alle Begriffe klein, es fliegt durch ein ganz porenfreies Aluminiumblättchen, wie durch ein weitmaschiges Netz hindurch. Lenard sieht sich genötigt, aus seinen Studien über die Absorption der Kathodenstrahlen den Schluss zu ziehen, dass ein schnell bewegtes Elektron durch Tausende von Atomen hindurchfliegt, ohne in seiner Geschwindigkeit eine wesentliche Aenderung zu erfahren<sup>1)</sup>. Der Druck, den die bewegten Elektronen auf die Gegenstände ausüben, gegen die sie anprallen, und noch mehr die grosse Wärme, die sie dabei entwickeln, scheinen zu beweisen, dass sie nicht nur etwas Ausgedehntes, sondern auch etwas Undurchdringliches sind. Damit ist aber auch unser Wissen über das Elektron erschöpft.

10. Ziehen wir das „Facit“ aus unseren Erörterungen. Die grossartigen Erfolge der experimentalen Forschung hat zu einer neuen Etappe in der Entwicklung der Physik hingeführt, die zweifelsohne nicht nur einen tiefgreifenden Umschwung, sondern auch einen bedeutenden Aufschwung der Wissenschaft anbahnen wird. Es gilt, ganz neue Erscheinungen in einem neuen erweiterten Fachwerke unterzubringen, Altes wie Neues auf gemeinsamer Grundlage nach einheitlichem Plane zu einem geistigen Gebäude auszugestalten. Dass so etwas die Geister in Erregung zu versetzen vermag, ist sehr begreiflich. Dazu kommt die dermalige Unsicherheit der Lage, die Erkenntnis, dass manches von dem, was man sich gewöhnt hatte, als gegeben und gewissermassen als selbstverständlich hinzunehmen, zweifelhaft geworden ist. Lücken in der Erkenntnis, die man künstlich überdeckt und überbrückt hatte, starren neuerdings offen dem Physiker entgegen. Das Bild einer grossartigen, wissenschaftlichen

<sup>1)</sup> Dieses spricht nicht nur für die Kleinheit der Elektronen, sondern auch für das durchbrochene, offene Gefüge der Atome.

Neuschöpfung steht vor seinem Blicke, doch die Umriss sind noch unbestimmt und verschwommen, er vermag es nicht fest und scharf zu fassen. — Etwas wie Unbehagen hat sich darum der Meister vom Fache bemächtigt. „Au milieu de tant de ruines, que reste-t-il debout,“ ruft missmutig ein Poincaré, einer der ersten Physiker Frankreichs, aus. Doch „auf Regen folgt Sonnenschein“, und so wird auch der Physiker, sobald es ihm gelungen sein wird, wieder festen Fuss zu fassen, mit der früheren Schaffensfreudigkeit und Siegeszuversicht von Fortschritt zu Fortschritt eilen. Gar manches ist indessen auch schon während des dermaligen Suchens nach einer neuen Basis für die Wissenschaft abgefallen. Es liegt schon ein Fortschritt darin, der Unzulänglichkeit und Unsicherheit unserer bisherigen Ideen klar bewusst geworden zu sein. Ein anderer Fortschritt ist darin zu erblicken, dass der einseitigen Betrachtungsweise der physikalischen Erscheinungen ein gewaltiger Stoss versetzt worden ist. Denn mag die schliessliche Entscheidung über die wahre Bedeutung der Elektronen ausfallen, wie sie wolle, so viel steht heute schon fest, dass immer eine Reihe von Zustandsänderungen in jedem Vorgange neben einander herlaufen und sich gegenseitig beeinflussen. In der Zukunft wird man sich nicht mehr darauf beschränken dürfen, nur die am meisten in die Augen fallende Erscheinung in Erwägung zu ziehen, da jede mechanische Bewegung, jede Aenderung des Wärmezustandes eines Körpers, zugleich auch von elektrischen und magnetischen Aenderungen begleitet wird, es sind ja Ionen und Elektronen immer dabei beteiligt. Auch unsere Kenntnisse über die Bedeutung der Atomtheorie im allgemeinen und über die einzelnen Atome im besonderen ist durch die neuesten Forschungen in ein viel helleres Licht gesetzt worden, trotzdem wir noch weit davon entfernt sind, eine im einzelnen ausgearbeitete Atomtheorie zu besitzen. Wir können heute nicht mehr daran zweifeln, dass ein Atom ein gesetzmässig aufgebautes System aus kleineren Individuen darstellt, die in ihren Bewegungen und Spannungen erstaunlich grosse Energiebeträge bergen. Die Atome sind die minimalen, feinen Mechanismen, die, von Gottes Allmacht und Weisheit zusammengesetzt und in Gang gebracht, durch das Abläufen ihres Räderwerkes im Laufe der Zeiten den grossartigen Weltprozess verwirklichen, welchen der Schöpfer in der sichtbaren, materiellen Natur beabsichtigt hat. Damit wollen wir indessen keineswegs behaupten, dass in ihnen alles nur Mechanismus sei.

11. Und wie steht es denn heute speziell mit dem Massenbegriff? Praktisch genommen, vermögen all die berührten Diskussionen an dem Gebrauch des Massenbegriffes nichts zu ändern. Bei den Arbeiten des Physikers kommen nämlich nur die quantitativen Beziehungen in Betracht, die wir eingangs (131) erwähnt haben, diese aber sind eine unmittelbare Folgerung aus der Erfahrung und werden von der Spekulation nicht berührt. Auch die mögliche Veränderlichkeit der Masse ist ohne praktische Bedeutung, da sie sich ja nur bei so hohen Geschwindigkeiten äussert, wie sie bei mechanischen Körperbewegungen nie vorkommen. — Anders verhält es sich mit dem über die Erfahrung hinausgehenden theoretischen, spekulativen Massenbegriff. Nach dem, was wir oben gesehen haben, wird dessen tiefere Bedeutung so lange fraglich bleiben, bis entschieden sein wird, ob alle Massen elektrisch aufzufassen seien. — Sollte die Entscheidung in bejahendem Sinne ausfallen, so würde der Massenbegriff einheitlich in der ganzen Physik zu nehmen sein und an Bestimmtheit im Vergleiche mit dem mechanischen Massenbegriff bedeutend gewinnen. Das „Etwas“, welches Träger der Bewegung und der Kraft ist, würde einfach identisch mit „Elektrizitätsmenge“, und der Trägheitswiderstand der Masse mit der „elektrischen Selbstinduktion“. Es bliebe nur mehr die Unklarheit übrig, die auch diesen Begriffen noch anhaftet. Selbstverständlich würde hiermit die Elektrizität für eine Substanz erklärt, und zwar zu der gleichartigen Grundsubstanz, die allen heterogenen Stoffen gemeinsam ist. Damit näherten wir uns wieder der ursprünglichen Auffassung der Elektrizität, welche die Elektrizität für ein Fluidum, d. i. eine äusserst feine Substanz ausgegeben hatte. Wenn die Entscheidung negativ lauten wird, dann hat man eben mit zwei Massenbegriffen weiter zu operieren und zwischen der mechanischen Masse und der elektrischen Masse oder der Elektrizitätsmenge wie bisher zu unterscheiden. Soweit sich in dieser verwickelten Sache überhaupt etwas voraussehen lassen kann, möchten wir die bejahende Antwort für wahrscheinlich halten. Ob schliesslich in Zukunft auch noch die Ahnung von Clausius sich bewahrheiten werde, welche dieser Physiker in einer Rede über „die grossen Agenzien der Natur“ ausgesprochen hat<sup>1)</sup>, nämlich dass auch der Aether aus Elektrizität bestehe und der ganze Weltraum mit Elektrizitätsteilchen erfüllt sei, das vermag heute ebenso wenig wie damals beurteilt zu werden.

<sup>1)</sup> In der Aula der Universität zu Bonn am 18. Oktober 1884.