

An den Grenzen unseres Erkennens.

Von

Prof. Dr. ERNST LECHER.

Vortrag gehalten in der Sitzung vom 10. Februar 1900.

Hochgeehrte Versammlung!

Das Folgende ist nur eine wissenschaftliche Plauderei. Die anwesenden Herren Fachgenossen mögen manches Bekannte entschuldigen. Ich suche in dieser allgemeinen Versammlung unseres Vereines den Nichtphysikern möglichst entgegenzukommen. Von mir selbst ist sehr wenig und eben darum hoffe ich, da ich in erster Linie von den Meistern unserer Zunft das Einschlägige zusammentrug, vielleicht Ihr Interesse erregen zu können.

Gleich diese Tabelle I, nach einer Idee von Maxwell gearbeitet, ist ein ganz reizendes Ding. Dieselbe ist erst vor wenigen Monaten von einem Schüler Maxwell's¹⁾ veröffentlicht worden. Es ist eine Längentabelle und umfasst in gewissem Sinne das ganze Gebiet unseres Wissens.

Die Nullen bedeuten Stellen, wo Ziffern hingehören. Hier über dieser Null in der Mitte lesen wir Centimeter. Zwei Stellen weiter links Meter und eine Stelle weiter rechts Millimeter: d. h. wir müssen den Centimeter 100mal nehmen, um Meter zu bekommen, während $\frac{1}{10}$ davon 1 Millimeter gibt. Es ist aus

¹⁾ Stoney. Phil. Mag (5) 48. pag. 478. Ich habe an dieser Tabelle einige kleine Aenderungen vorgenommen, welche mir die Uebersichtlichkeit derselben zu erhöhen scheinen.

unserer Tabelle z. B. gleich ersichtlich, wie viele Millimeter ein Kilometer hat. Denken wir uns hier unter Kilometer einen Einser geschrieben, so sehen wir, dass wir an denselben 6 Nullen anzuhängen haben, d. h. mit 10^6 zu multipliciren haben, um Millimeter zu bekommen.

Ein Erdquadrant ist noch grösser und unsere Nullen geben wieder direct an, in welchem Verhältnisse der Erdquadrant zu den anderen bisher genannten Grössen steht. Diese Erläuterung dürfte wohl genügen, um die Einrichtung der Tabelle klar zu machen.

Gehen wir zuerst nach links; wir sehen, da die Entfernungen der Satelliten, der Planeten und Sterne; ganz links sind die äussersten Entfernungen, die wir noch halbwegs schätzen können: die Entfernungen der Nebelflecken. Und diese Zahlen hätten bereits so viele Nullen, dass es manchmal bequemer ist, solche Grössen nach jener Zeit zu messen, welche ein Lichtstrahl brauchen würde, um dieselben zu durchheilen; so sehen wir da über 100.000 Lichtjahre angegeben, eine Länge, die trotz ihrer enormen Grösse immer noch einen bestimmten physikalischen Sinn hat. Noch weiter hinaus ist eine Grenze unseres Erkennens; es ist aber schon vorher schwer, genaue Zahlenwerthe anzugeben. Wir müssen froh sein, wenn wir den Stellenwerth dieser Grössen kennen, d. h. wenn wir wissen, wie viele Nullen wir an eine beliebige einzifferige Zahl anzuhängen haben, um dieselbe in *cm* ausdrücken zu können. Man spricht dann von der Grössenordnung eines Werthes und es ist selbstverständlich in Ermangelung der Möglichkeit einer genaueren Einsicht die Bestimmung der blossen Grössenordnung schon von tiefem Interesse. Aehnliches werden wir auch bei den ganz kleinen Grössen finden.

Die Angabe der Grössenordnung hat noch einen weiteren Vortheil als Hilfsmittel für unser Gedächtnis. — Ich weiss die Entfernungen der Planeten nicht auswendig; aber Sie sehen hier diese 3 Nullen, und es ist überraschend, wie innerhalb dieses riesigen Bezirkes astronomischer Messungen die Grössen der Planetenentfernungen so enge beisammen liegen. Man kann ja auch die relativen Entfernungen der Planeten in einer verkleinerten Zeichnung ganz genau wiedergeben. Würde ich hingegen diese Entfernungen gleichzeitig mit den Entfernungen der Nebelflecke graphisch darstellen wollen, so wäre es nicht mehr

möglich, das auf einem einzigen Blatte Papier zeichnerisch bestimmt auszudrücken.

Gehen wir nun diese Längenmaasse nach abwärts, so sehen wir bei $\frac{1}{1000}$ mm das Maass, mit dem die Mikroskopiker arbeiten: das Mikron (μ). Die kleinsten noch sichtbaren Grössen sind einige Zehntel eines Mikrons, was in der Tabelle dadurch ausgedrückt ist, dass die Klammer der Ueberschrift Mikroskop bis zu einer Null unterhalb des Mikrons reicht.

Ein Blick nach oben zeigt uns, mit welchen Längenmaassen die Astronomie, Geodäsie arbeiten. während wir in den Laboratorien bei unseren directen Messungen Längen von — sagen wir — im Maximum 1 Kilometer bis zu etwa einigen Zehnteln eines Mikrons in Betracht ziehen können.

Sie sehen hier unten den Ausdruck „Elektrische Schwingungen“. Es sind das Aetherschwingungen. Der Begriff des Aethers hat für den Nichtphysiker etwas Unsympathisches. „Was man nicht erklären kann, das seh' man flugs als Aether an“ so höhnten wir schon vor Jahren im Gymnasium. Das Vorurtheil stammt aus jenen Zeiten, wo man zu den verschiedensten Zwecken die verschiedensten Aetherarten erfand. Es gab einen Aether zum Schwimmen der Planeten, später einen anderen für die elektrische Atmosphäre, einen weiteren für die magnetischen Effluven u. s. w. Jetzt sind wir ökonomischer: wir brauchen nurmehr eine einzige Aetherart und hoffentlich wird es mit diesem Aether sein Auslangen finden. Zunächst wurde der Aether zur Erklärung des Lichtes herangezogen. Wir haben ja alle schon in der Mittelschule gelernt, dass das Licht auf einer transversalen Aetherschwingung beruhe. Dieses Gebiet der Aetherschwingungen ist durch das Dreigestirn Faraday, Maxwell, Hertz sehr erweitert worden. Vielleicht gestatten Sie mir zunächst einige Worte über das Wesen dieser Weiterbildung. — über die sogenannte elektromagnetische Lichttheorie.

Man kann in der ganzen Elektrizitätslehre alle Messungen zurückführen entweder auf elektrostatisches oder auf magnetisches Maass. Beginnt man die Ueberlegungen in diesem Wissenszweige mit der Betrachtung der Anziehung oder Abstossung elektrisirter Körper, so kommt man auf die sogenannte Coulombsche Gleichung, welche lautet:

$$\text{Kraft} = \text{Constante} \frac{e \cdot e'}{\text{Entfernung}^2}.$$

e und e' bedeuten die beiden auf einander wirkenden Elektrizitätsmengen. Das Maass für die Kraft ist aus der Mechanik gegeben, ebenso das Maass der Entfernung. Ueber diese beiden Grössen dürfen wir keine willkürliche Annahme mehr machen, denn das ist bereits anderweitig geschehen. Hingegen können wir das Maass für die Elektrizitätsmenge, oder genauer gesprochen, die Einheit der Elektrizitätsmenge, beliebig gross oder klein nehmen. Definiren wir nun als Einheit der Elektrizitätsmenge jene Menge, welche eine gleich grosse Menge in der Entfernung Eins mit der Kraft Eins anzieht, so haben wir damit eine ganz bestimmte Annahme über die Constante in obiger Gleichung gemacht. Die Gleichung lautet nämlich unter diesen Annahmen dann:

$$1 = \text{Constante} \frac{1 \cdot 1}{1^2}.$$

Wir sehen also, dass obige Definition der Einheit der Elektrizitätsmenge darauf hinausläuft, dass in der vorliegenden Gleichung die Constante gleich Eins gesetzt wird. Haben wir aber diese willkürliche Annahme gemacht, dann haben wir für das ganze weite Gebiet der Elektrizität gebundene Marschroute. Denn der elektrische Strom ist die in der Zeiteinheit fliessende Elektrizitätsmenge; diese Elektrizitätsmenge übt bestimmte magnetische Wirkungen aus u. s. w. Wir dürfen also jetzt für das Maass aller elektrischen und magnetischen Grössen keine neue Annahme mehr machen.

Es gibt aber noch eine andere Alternative. Wir können von der Beobachtung der Anziehung oder Abstossung zweier magnetischer Pole ausgehen. Solche Beobachtungen werden durch eine Gleichung dargestellt, welche lautet:

$$\text{Kraft} = \text{Konstante} \frac{m \cdot m'}{\text{Entfernung}^2}.$$

m und m' bedeuten die beiden aufeinander wirkenden magnetischen Massen. Wir können nun, wenn wir das Messen auf elektromagnetischem Gebiete von diesem Gesichtspunkte aus in Angriff nehmen, hier genau dieselben Schlüsse machen wie früher. Setzen wir diese Constante (zum Unterschiede von der früheren statt mit C mit K geschrieben) gleich 1, so heisst

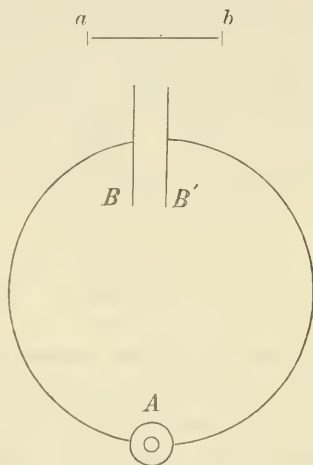
das, wir haben dann die Einheit der magnetischen Masse, wenn dieselbe auf eine gleich grosse in der Entfernung Eins die Krafteinheit ausübt. Haben wir uns für diese Definition entschieden, so haben wir natürlich gleichfalls gebundene Marschroute für das ganze übrige Gebiet.

Man kann also sämtliche elektromagnetischen Grössen entweder nach sogenanntem elektrostatischen oder nach elektromagnetischem Maasse messen, welche von zwei scheinbar nicht zusammengehörigen Gesichtspunkten ausgehen. Nun zeigt sich die merkwürdige Thatsache, dass die verschiedenen Werthe, je nachdem man sie nach dem einen oder anderen Maasssysteme misst, sich durch einen bestimmten Factor (eventuell durch die Potenz desselben Factors) unterscheiden, und dieser Factor ist gleich der Lichtgeschwindigkeit, nämlich 3×10^{10} *cm* oder 3×10^5 *km* per Secunde. Das kann wohl kaum ein Zufall sein. Diese Thatsache an sich war bekannt, aber erst das Genie Maxwells deckte den Zusammenhang auf. Schon Kirchhoff's Rechnungen zeigten mit den alten Vorstellungen der Elektrodynamik, dass eine elektrische Störung längs eines Drahtes mit Lichtgeschwindigkeit sich fortpflanzt. Doch auch hier könnte die Beziehung als eine mehr zufällige erscheinen. Maxwell gelangte aber zu einer ganz neuartigen und ungemein fruchtbaren Auffassung dadurch, dass er die Anschauungen Faraday's verworthe und den Begriff des Isolators im Faraday'schen Sinne ausgestaltete.

In einem Leiter verschiebt sich die Elektrizität wie z. B. eine Kugel in irgend einer Flüssigkeit, sagen wir z. B. in Glycerin, unter Einwirkung einer constanten Kraft. In Folge der Reibung wird diese constante Kraft eine gleichförmige Bewegung erzeugen; es tritt keine Beschleunigung ein, weil in Folge der Reibung sich fortwährend die Wirkung der Kraft in Wärme verwandelt. So erzeugt auch eine constante elektromotorische Kraft in einem Leiter Wärme. Im Isolator, dem sogenannten Dielectricum, tritt aber nur eine begrenzte Verschiebung ein. Denken wir uns obige Kugel in der Flüssigkeit eingefroren, so wird eine Kraft, welche auf die Kugel wirkt, dieselbe etwas aus ihrer Gleichgewichtslage verschieben; dabei tritt aber ein elastischer Widerstand auf, es wird Energie aufgespeichert; denn sowie die Kraft zu wirken aufhört, wird in Folge der Elasticität die Kugel wieder in ihre Ruhelage zurückgehen.

Es sei A eine elektrische Maschine, welche durch zwei Drähte mit den beiden Platten B und B' verbunden ist. Wenn A zu wirken beginnt, so wird sie Elektrizität aus B' heraus und in B hineinpumpen. In den Drähten findet während dieser

Fig. 1.



kleinen Zeit ein wirkliches Strömen der Elektrizität, Reibung und Erwärmung statt. Im Raume zwischen B und B' aber wird die Elektrizität nur etwas aus ihrer Gleichgewichtslage herausgedrückt; es entsteht ein Gegenzug gegen die Ruhelage hin, es kann ein wirkliches Strömen nicht stattfinden. Man spricht dann davon, dass in einem Dielectricum zwischen B und B' ein sogenannter Verschiebungsstrom stattgefunden habe. Das Ganze ist natürlich nur ein mechanisches Bild, um den Sinn der Erscheinung zu erklären.

Die Verschiebung im Dielectricum zwischen B und B' ist so, wie in einem vollkommen elastischen Körper. Es findet keine Reibung statt, also auch kein Erwärmen; trotzdem repräsentirt eine solche elektrische Verschiebung einen kurz dauernden elektrischen Strom. Wie dieser, muss also auch eine solche Verschiebung Inductionswirkungen ausüben. Inductionswirkungen bekommt man aber — die anwesenden Herren Mediciner mögen an ihren Schlittenapparat denken — am besten mit sehr rasch hin und her gehenden Strömungen. Wir können daher in unserem

Falle auf eine Inductionswirkung hoffen, wenn die elektrische Verschiebung im Dielektricum zwischen B und B' möglichst rasch hin und hergeht. Solche rapide Verschiebungen, welche viele Billionenmal in der Secunde hin und her gehen, sind nun nach Maxwell die Lichtschwingungen. Maxwell zeigt durch rechnerische Ueberlegungen, dass die Geschwindigkeit, mit der eine solche Verschiebung im Dielektricum sich fortpflanzt, gleich der Lichtgeschwindigkeit sein muss. Denken wir uns zwischen B und B' sehr rasch hin und her gehende Verschiebungen, so pflanzen sich dieselben durch den Aether fort und werden in einem Leiter $a b$ wieder zu gewöhnlichen elektrischen Strömen, die rasch hin u. her gehen und Wärme erzeugen; wir haben also in $B B'$ einen transversalen Erreger, es gehen Wellen gegen $a b$, und werden dort absorbirt, genau so, wie wir es uns von optischen Erfahrungen her vorzustellen gewohnt sind. Hertz und seine Nachfolger zeigten nun, dass solche Verschiebungswellen alle jene Eigenschaften haben, welche wir an gewöhnlichen Wärmestrahlen, am bequemsten an jenen Wärmestrahlen, welche auch unseren Gesichtssinn erregen, den Lichtstrahlen, kennen: sie zeigen Reflexion, Brechung, Interferenz, Polarisation u. s. w. Wir können also ruhig von der Identität der beiden Erscheinungen sprechen, wenn wir auch in den beobachteten Grössenordnungen noch Unterschiede finden.

Die beobachteten elektrischen Wellen reichen von vielen Kilometern bis herunter zu 3 Millimetern, während die längsten bis jest beobachteten Wärmewellen 0.06 Millimeter betragen. Diese Lücke zwischen elektrischen und Wärmeschwingungen verkleinert sich aber immer mehr und mehr und dürfte wohl bald ganz verschwinden. Wir sehen in der grossen Tabelle I. den Bezirk der elektrischen und Wärmeschwingungen noch durch eine Null getrennt. Tabelle II. gibt uns eine etwas eingehendere Darstellung dieses Gebietes.

Wenn nun auch kein Physiker daran zweifelt, dass die Wärmeschwingungen (und Lichtschwingungen) elektrische Schwingungen sind, so kann man doch verschiedenen Auffassungen in Bezug auf die mechanische Vorstellung zuneigen. Es gibt zwei Richtungen in der Physik; die eine ist die noblere, vorsichtiger, sie begnügt sich mit dem Beschreiben der wirklich gefundenen Thatsachen; nennen wir als ihren Repräsentanten den Deutschen Kirchhoff. Die zweite Richtung ist eine prak-

lische, triviale, zu deren extremsten Vertretern z. B. der Engländer Lodge gehört. Beide Richtungen haben ihre Berechtigung. Gewisse mathematische Formeln beschreiben die Erscheinungen richtig, wenn auch im Laufe der Jahre die Grundvorstellungen wechseln. Der praktische Experimentator kann aber bestimmter Vorstellungen nicht entrathen, er arbeitet mit erdichteten Beschreibungen von nicht beobachteten und nicht beobachtbaren Dingen, sogenannten Hypothesen, deren heuristische Bedeutung in den Wissenschaften wohl über allem Zweifel steht. Nur muss er sich natürlich stets bewusst bleiben, dass diese Hypothesen von nur provisorischem Werthe sind. Wenn nun der vorsichtige Mathematiker nur von der Identität von Licht und elektrischen Schwingungen sprechen darf, können wir unter der eben ausgesprochenen *reservatio mentalis* viel weiter gehen. Wir sagen: Eine elektrische Verschiebung ist eine Verschiebung des Aethers, desselben Aethers, den ja schon die Optiker angenommen haben.

Unsere Vorstellungen sind derzeit atomistischer Natur; denken wir uns meinetwegen auch den Aether atomistisch. Es muss natürlich ein solches Aetheratom unendlich klein sein gegen die Wellenlänge des Lichtes. Dieses Aetheratom ist fix im Raume und wenn ich einen festen Körper, sei es auch die dickste Bleiplatte durch den Raum bewege, so ist das so, wie wenn ein Fischernetz mit grossen Maschen durch ein Wasser zieht. Wie das Wasser an seiner Stelle bleibt, während das Netz hindurchgeht, so kann die grobe Materie durch den Aether gehen, der ruhig bleibt. Wird ein solches Aethertheilchen durch irgend eine Kraft aus seiner Ruhelage gedrückt, so ist es im Isolator nur ein klein wenig verschiebbar.

1) Sowie ich es loslasse, schwingt es um die Ruhelage hin und her; das wäre eine Lichtschwingung.

2) Die blossе Verschiebung repräsentirt die Wirkung, welche elektrisch geladene Körper im Dielectricum hervorbringen.

3) Ein Herumwirbeln um die Ruhelage entspricht der Aeusserung einer magnetischen Kraft.

4) Im Leiter selbst ist der Aether frei beweglich und das ist das Wesen des elektrischen Stromes.

Diese vier verschiedenen Aufgaben hat unser moderner Aether zu erfüllen und wenn er es wirklich thut, so gibt er uns die Möglichkeit, grosse und scheinbar weitabliegende Wissensgebiete einer einheitlichen Auffassung zugänglich zu machen.

Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sehr gross ist, so muss für den Aether der Quotient Dichte durch Elasticität sehr klein sein; d. h. die Dichte sehr klein oder die Elasticität sehr gross oder wahrscheinlich beides gleichzeitig.

Der Engländer W. Thomson (jetzt Lord Kelvin) hat nun sogar folgende merkwürdige Ueberlegung vorgenommen, um die Masse des Aethers im Cubikcentimeter-Raum zu bestimmen. Wir kennen die Wärme, welche mit den Sonnenstrahlen von der Sonne wegfliet. Stellen wir irgendwo der Sonne gegenüber eine Fläche auf, so empfängt dieselbe pro Secunde eine bestimmte Wärmemenge, die wir messen können. Diese Wärmemenge, welche in einer Secunde absorbiert wird, ist zu Beginn dieser Secunde in einem cylindrischen Raume enthalten, welcher sich von der absorbirenden Fläche aus 3×10^{10} cm (Lichtweg während einer Secunde) gegen die Sonne hin erstreckt. Wir können daher den Betrag dieser Energie pro Cubikcentimeter des Raumes angeben. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Aether um die Gleichgewichtslage sich hin und her bewegt, ist uns unbekannt. (Dieselbe ist von der Lichtgeschwindigkeit natürlich ebenso verschieden, wie die Geschwindigkeit, mit der ein Kork im Wasser auf und niederwogt, verschieden ist von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wasserwelle.) Man kann aber unter gewissen Annahmen zu einem Grenzwerthe dieser Geschwindigkeit gelangen. Thomson meint in Folge einiger physikalischer Ueberlegungen, dass die grösste Excursion des Aethertheilchens um seine Gleichgewichtslage kleiner ist als ein Hundertel der Wellenlänge. Er kann dann die Geschwindigkeit des oscillirenden Aethers berechnen; kennen wir aber die Geschwindigkeit einer bewegten Masse und die Energie derselben, so können wir auch die Masse bestimmen. Thomson kommt so zu dem Endergebnis, dass die Aethermasse pro Cubikcentimeter ungefähr 9×10^{-19} g sein muss; d. h. wir müssten 9×10^{19} (das ist 9 mit 19 angehängten Nullen) Cubikcentimeter Aether nehmen, um so viel Masse zu bekommen, als in einem Cubikcentimeter Wasser ist. Diese Zahl erscheint unglanblich, gestattet aber gleichwohl einige ganz merkwürdige Folgerungen. Nehmen wir an, die Erde würde ruhen; dann würde die Luft nach bekannten Gesetzen immer dünner werden, je weiter wir von der Erde weggehen. In den intraplanetaren Entfernungen wäre dann die Luft circa 10^{300} mal dünner als der eben berechnete hypothetische

Thomson'sche Aether. Wir sehen also, dass die eventuellen Luftreste da draussen viel zu gering sind, als dass ihre Vermittlung uns die Lichtwirkung erklären könnte. Aber noch einige andere Folgerungen gestatten Sie mir Ihnen mitzutheilen: Ein grosser Würfel mit 1 km Kantenlänge enthält mehr an Aethermasse als ein Kilogramm an gewöhnlicher Materie. Ein Volumen von der Erdgrösse gefüllt mit Aether enthält mehr Masse als eine Billion Kilogramm gewöhnlicher Materie und ich müsste 120.000 gewöhnliche Erdkugeln zusammenlegen, um soviel Masse herauszubekommen, als in einer Kugel mit dem Radius der Neptunentfernung Aether vorhanden ist. Innerhalb unseres Sonnensystems haben wir allerdings mehr gewöhnliche Materie als Aether. Innerhalb des Fixsternraumes aber ist die Materie verschwindend gegen den Aether, dessen Vorhandensein wir an die Materie geklebten Sterblichen aber erst auf so weiten Umwegen erkennen durften.

Eine andere Grenze des Erkennens finden wir im Wesen der Materie selbst. Die grobe Materie stellen wir uns als aus Molekeln zusammengesetzt vor. Es hat diese Hypothese schon lange den Chemikern vorzügliche Dienste geleistet und seit der Mitte des endenden Jahrhunderts hat auch die Physik viel Wissenswerthes zu diesem Gebiete beigesteuert. Darüber möchte ich nun einiges sagen. Nach der kinetischen Gastheorie bewegen sich die Molekel eines Gases in gerader Linie, bis sie aneinander oder an die Wand des Gefässes stossen. Diese Theorie definirt das Molekel dynamisch als die kleinste Masse, deren Schwerpunkt sich bewegt. Die Frage nach der Elasticität der Atome lässt sich durch Wirbelbewegungen der sogenannten Vortex-Atome verstehen. Ich kann jetzt aber nicht bei diesen schönen Ideen verweilen, sondern will nur einige Methoden anführen, welche zur Bestimmung der Grösse der Molekel geführt haben. Dabei möchte ich nur erreichen, dass Ihnen die Endzahlen und der Weg, auf welchem wir zu denselben gekommen, im grossen Ganzen plausibel erscheinen. Darauf läuft ja eigentlich jede Wissenschaft und auch jedes Verständnis hinaus. Wenn ich einem Laien sage, dass irgend eine Eisenbrücke so und soviel Metercentner tragen kann und dass man das berechnet, so wird er mir Glauben schenken; wenn ich ihm aber die Zahlen über

Grösse und Anzahl der Molekel unvermittelt hersage, so wird er wähen, Märchen aus Tausend und einer Nacht zu hören.

Nehmen wir also der Bequemlichkeit wegen an, die Molekel seien elastische Kugeln, die in einem Raume hin- und herfliegen, und ihr Gesamtbombardement gegen die Wände bewirke den Druck eines Gases. Es ist unmittelbar klar, dass, wenn ich diese Molekelanzahl auf den halben Raum zusammenpresse, sie doppelt so oft stossen, dass sich also der Druck verdoppeln muss: das ist das Mariotte'sche Gesetz. Die Geschwindigkeit der Molekel steigert sich mit der Temperatur. Der Druck eines Gases ergibt sich nach diesen Anschauungen aus der bewegten Masse und der Geschwindigkeit, mit der sich diese Masse bewegt. Wenn ich also die Masse eines Gases z. B. pro Cubikcentimeter kenne (die specifische Masse), so kann ich die Geschwindigkeit berechnen. Diese Geschwindigkeit ist bei 0° Celsius z. B. für ein Luftmolekel 485, für ein Wasserstoffmolekel 1844 Meter per Secunde. Wenn die leichtere Masse *ceteris paribus* denselben Druck ausüben soll, wie die schwerere, müssen sich die Theilchen rascher bewegen.

Nun wurden gegen diese Berechnungen eine Reihe von Einwänden erhoben und die Widerlegungen derselben führten zu immer neuen schönen Ergebnissen. Einer dieser Einwände war folgender: Wenn irgend ein Gastheilchen sich mit einer solchen Geschwindigkeit von 500 *m* pro Secunde bewegte, so müsste das Ineinanderfliessen zweier Gasmassen, die sogenannte Diffusion, unendlich rasch erfolgen. Eine Spur Ammoniakgas in der einen Ecke dieses Saales müsste momentan im ganzen Saale gerochen werden u. dgl. Man beobachte nun das wirkliche Verhalten. Denken wir uns ein Gas dargestellt durch einen Bienenschwarm, dessen einzelne Thiere nach allen Richtungen hin und her summen. Durch eine Scheidewand getrennt sei ein zweiter Bienenschwarm. Ziehen wir jetzt die Scheidewand für kurze Zeit weg, so werden Bienen des einen Theiles in den anderen Theil eindringen und umgekehrt. So werden wir leicht messen können, wie viel in dem einen Schwarme hinein und wie viele hinweggekommen sind; genau so gehen die einzelnen Gasmolekel, wenn sich zwei Gase berühren, von dem einen Gas ins andere und umgekehrt. Da nun das Eindringen in Wirklichkeit ein sehr langsames ist, trotzdem die Molekel sich so riesig rasch bewegen, so ist man zur Annahme gezwungen, dass der wirkliche

Weg, den ein Gastheilchen, wenn es in ein zweites Gas eindringt, zurücklegt, trotz der kolossalen Geschwindigkeit ein sehr kurzer ist. Diese sogenannte Weglänge eines Gases ist für Luft z. B. mit 0.0000095 cm gemessen worden. Es wird also das Gasmolekel in einer Sekunde ungemein oft an Nachbarmolekel anrennen. Die Zahl dieser Zusammenstösse beträgt für ein Luftmolekel circa 4700×10^6 , d. h. so ein Luftmolekel geht 10^5 mal rascher hin und her als bei der höchsten akustischen Schwingung. Und so kommt es, dass trotz der enormen Geschwindigkeit das Mischen der Gase sehr langsam erfolgt. Ein Gastheilchen bewegt sich wie ein Kaninchen, das trotz der tollsten Geschwindigkeit infolge fortwährender Zickzacksprünge nicht recht vom Flecke kommt. In unserer Tabelle 1 sehen sie rechts von Mikron die Stelle angegeben, wo die Gasweglängen der verschiedenen Gase liegen; dieselben sind ca. 25mal kleiner als die kleinsten mikroskopisch sichtbaren Grössen und $1/10$ mal kleiner als die Lichtwellen.

Dieses Ergebnis ist an und für sich interessant. Aber wir können noch weitere Folgerungen daran knüpfen. Denken wir uns folgendes Hazardspiel: In Fig. 2 haben wir den Durchschnitt einer Reihe von gleichen Kugeln. Jede Kugel ist der Einfachheit wegen gleich weit von den anderen entfernt gedacht, und im übrigen seien die hintereinanderliegenden Reihen ganz unregelmässig

Fig. 2.



gegeneinander verschoben. Wenn ich nun mit einer gleich grossen Kugel a in der Richtung des Pfeiles gegen die anderen Kugeln werfe, so wird diese Kugel bis zu einer gewissen Reihe vor-

dringen. Eine einfache Ueberlegung zeigt uns, dass, wenn die Kugeln im Verhältnis zu den punktirt gezeichneten Vierecken sehr gross sind, die hineingeworfene Kugel schon in einer der ersten Reihen stecken bleiben wird. Sind die Kugeln aber sehr klein, so werden wir vielleicht bis in die tausendste Reihe kommen, bevor ein Anprallen erfolgt. Diese Ueberlegung kann der Mathematiker leicht in Formeln bringen; und wenn wir ihm die Seite eines der Quadrate L und den Halbmesser einer Kugel r geben, so rechnet er uns genau aus, die wievielte Reihe jene ist, auf welche wir wetten müssten, um in einem Glücksspiele zu gewinnen. Würde er z. B. die tausendste Reihe als die wahrscheinlichste bezeichnen, in welcher die Kugel a stecken bleibt, so ist sicher, dass weitaus die grösste Anzahl der hineingeschleuderten Kugeln wirklich in dieser tausendsten Reihe stecken bleiben würde. Bei dieser Calculation ändert sich natürlich nichts, wenn ich die ganze Zeichnung durch ein Vergrösserungsglas betrachten würde; wenn ich alles zwei- oder dreimal so gross annehme, so würde wieder die tausendste Reihe die wahrscheinlichste bleiben. Es kommt also nicht auf den absoluten Werth von L und r an, sondern nur auf ihr Verhältnis.

Denken wir uns die Sache einmal umgekehrt. Wenn wir ein derartiges Spiel betreiben und finden würden, dass z. B. die tausendste Reihe die meisten Gewinnstchancen böte, so wäre der Mathematiker imstande, uns daraus das Verhältnis der Quadrate und der kleinen Kreisflächen anzugeben. Nehmen wir nun aber an, dass diese kleinen Kugeln in unserem Spiele Gasmolekel sind, so haben wir ja gerade früher ein derartiges Glücksspiel durchgeführt; wir haben ja die Gase gegeneinander diffundiren lassen. Wir haben experimentell gefunden, dass die mittlere Weglänge bei Luft z. B. 0.000009 *cm* ist.

Noch aber sind wir nicht am Ziele, denn leider wissen wir nicht, die wievielte Reihe das bei unserem Hazardspiele ist. Es ist klar, dass diese eben angegebene Länge von 0.000009 *cm*, wenn die Gasmolekel gross sind, bis zur zweiten oder dritten Reihe reichen kann, wenn die Molekel aber sehr klein sind, kann es die tausendste oder zehntausendste Reihe sein. Diese Ueberlegung zwingt uns zu einem Umwege. Ich kenne durch Wägungen die in einem Cubikcentimeter enthaltene Masse. Theile ich dieselbe in wenige, aber grosse Molekel, so bedeutet die mittlere Weglänge eine Strecke von zwei oder drei Reihen;

theile ich diese Masse aber in sehr viele kleine Molekel, so umfasst die gemessene mittlere Weglänge tausend oder zehntausend Reihen. Auch dem Nichtmathematiker wird klar sein, dass ich mir eine Tabelle anlegen kann, die sagt: Unter der Annahme, dass in einem Cubikcentimeter 1000 Theilchen sind, ist es die sovielte Reihe; unter der Annahme, dass es 10000 sind, die sovielte, dass es 100 000 sind, die sovielte u. s. w. Es wird also das Verhältniss der beiden Flächen L^2 und $r^2\pi$ für jede dieser Annahmen anders ausfallen. Im allgemeinen: der Mathematiker kann nur berechnen: $Nr^2\pi$, wo N die Zahl der Molekel im Cubikcentimeter bedeutet, kann aber das N und r nicht trennen, d. h. er kann mir nur Folgendes sagen: Wenn ich die einzelnen Molekel eines Cubikcentimeter Gases nebeneinander auf den Tisch ausbreite, so bedecken sie, und das entspricht jetzt dem Rechnungsergebnisse ganz genau, ungefähr die Hälfte dieses Tisches d. i. eine Fläche von 1 m Breite und 1.7 m Länge. Wie gross aber der Durchmesser eines Theilchens ist, und wie viele ihrer sind, das kann er mir nicht sagen.

Hier setzt nun die berühmte Arbeit unseres Oesterreichers Loschmidt ein. Seine Ueberlegung ist folgende: Man kann ein Gas durch gesteigerten Druck immer mehr und mehr zusammendrücken, bis es zu einer Flüssigkeit geworden, dann aber lässt es sich nicht mehr zusammendrücken, d. h. die einzelnen Molekelkugeln sind dann bis zur vollständigen Berührung aneinandergedrückt. Kenne ich nun das Flüssigkeitsvolumen, zu welchem ein cm^3 Gas zusammengepresst wird so besteht dieses Flüssigkeitsvolumen aus N Kugeln und der Rauminhalt einer jeden ist $\frac{4}{3}r^3\pi$. Ich kenne also das Product $N \times \frac{4}{3}r^3\pi$. Nun habe ich plötzlich zwei Gleichungen für zwei Unbekannte; früher hatte ich $Nr^2\pi$, und jetzt $N\frac{4}{3}r^3\pi$. Also lässt sich sowohl N als r berechnen. Man findet dann für $2r$, den Durchmesser eines Molekels, verschiedene Werthe, die in ihrer Grössenordnung von 1—10 Milliontel mm auch unsere Tabelle zeigt.

Das kleinste Theilchen, das wir unter dem Mikroskope sehen können, ist noch tausendmal grösser.

Es ist des Verhältniss zwischen

{	eine Lichtwellenlänge,
	einem Molekel,
	der kleinsten mikroskopisch sichtbaren Grösse,

genau so wie zwischen

{ einer Meereswelle,
 { einem darauf schwimmenden Korke,
 { einem unserer grössten Oceandampfer.

Wenn ich die einzelnen Molekel eines Cubikcentimeters rosenkranzartig aneinanderreihe, so gehen sie circa 200mal um den Aequator herum. Wir haben früher gesehen, dass eben dieselben Molekel nebeneinandergelegt auf dem halben Tische Platz hätten und jetzt sollen sie 200mal um den Aequator herumgehen? Denken wir uns diese halbe Tischfläche mit einem Tuche bespannt, so kann ich ja daraus kleine Streifen schneiden, die aneinandergereiht umsolänger sein werden, je enger ich die Streifen schneide. Wenn ich nun den Schnitt so machen könnte, dass ich auf die Breite eines Zehnmilliontel Millimeter abschneide so kommt diese ungeheure Länge zu Stande.

Die obige Rechnung ergibt gleichzeitig mit r auch N , die Anzahl der Molekel in einem Cubikcentimeter. Dieselbe ist nach dem Avogadro'schen Gesetz *ceteris paribus* in allen Gasen gleich und zwar 21 Trillionen d. h. 21 mit 18 angehängten Nullen in einem Cubikcentimeter Gas, d. i. ungefähr in einem halben Fingerhute. Diese Zahl erscheint kaum fassbar. Vergleichen wir sie mit der Anzahl der Menschen, die unsere Erde bevölkern, so ist sie natürlich weit überlegen. Die Anzahl Menschen auf der Erde, 1500 Millionen, ist ja nicht so gross. Sie alle könnten auf dem zugefrorenen Bodensee Unterkunft finden, eventuell, wenn wir rechnen, dass auch Kinder darunter sind, in liegender Stellung knapp nebeneinander Platz finden und würden, wenn sie alle dort ertränken, den Bodensee kaum mehr schwellen als ein starker Regenguss. Denken wir aber an die scheinbar unzähligen Sterne, die unser Auge in einer klaren Nacht am Himmelszelt erblickt und denken wir uns alle diese Sterne gleich stark bevölkert wie unsere Erde, so würden all diese Menschenmengen zusammen ihrer Zahl nach noch lange nicht die Anzahl der Molekel eines Gases in einem halben Fingerhute erreichen. Solche Zahlen erhalten wir (abgesehen von anderen physikalischen Grössen wie Lichtschwingungen u. dgl.) hingegen leicht bei geometrischen Progressionen. Bei der bekannten Verdopplung eines Weizenkornes auf den 64 aufeinanderfolgenden Feldern eines Schachbrettes ergibt sich eine Zahl von 18×10^{21} . Ein Rattenpärchen kann nach 10 Jahren 48 Trillionen Nachkommen haben.¹⁾

¹⁾ Physiologie d. Zeugung V. Hensen 1881 p. 249.

Es entsteht nun die Frage, wie in einem so kleinen Raume von einem Cubikcentimeter 21 Trillionen Gasmolekel Platz haben. Und zu diesem Zwecke wollen wir uns einer ausgiebigen Vergrößerungsbrille bedienen, und zwar einer solchen, welche alles 10^7 mal oder 10 Millionenmal vergrößert. Dann haben die Molekel einen Durchmesser von 1 *cm*, also ungefähr die Grösse einer Erbse. Die Entfernung zweier Molekel wäre dann gleich 11 *cm*. Denken wir uns also eine Reihe von Erbsen gezeichnet, welche je 11 *cm* voneinander entfernt sind, so haben wird das Bild eines Gases bei 0° Celsius und 760 *mm* Druck. Diese Erbsen müssten dann mit einer colossalen Geschwindigkeit von 500×10^7 Meter per Secunde herumfliegen. Eine Lichtwellenlänge würde etwa 5 *m* betragen. Unser bestes Vacuum geht etwa auf 1 Milliontel Atmosphärendruck, d. h. es sind dann in einem Cubikcentimeter Gas immer noch 21×10^{12} Molekel vorhanden. Nehmen wir jetzt wieder unser Vergrößerungsglas von früher, und denken wir, dieser Vorlesungssaal ($10 \times 5 \times 5 \text{ m}^3$) wäre ein kleiner Bruchtheil einer durch mein Vergrößerungsglas gesehenen Röntgenkugel, so würden hier nurmehr 5 Erbsen herumzufliegen haben. Sie sehen also, der Sprung von den vielen Erbsen in je 11 *cm* Entfernung bis zu den 5 Erbsen in diesem riesigen Saale ist ein kolossaler und wir verstehen jetzt den gewaltigen Unterschied in den physikalischen Eigenschaften der gewöhnlichen Luft und unserer Vacua, wenn auch in letzteren immer noch 19×10^{12} Molekel pro Cubikcentimeter vorhanden sind.

Zu den folgenden Betrachtungen will ich für meine Brille eine etwas kleinere Vergrößerung wählen; dieselbe soll linear 10^6 (eine Million) betragen. Der Durchmesser eines Molekels würde dann 1 *mm* betragen. Dasselbe hätte dann also ungefähr die Grösse eines Grieskornes. Mit einer solchen Brille bewaffnet würden uns die kleinsten Bakterien, die in Wirklichkeit einen Durchmesser von 0.0005 *mm* haben, zu einem runden Sacke von 50 *cm* Durchmesser angeschwollen erscheinen und dieselben enthielten 62 Millionen Grieskörner, Molekel. Ein rothes Blutkörperchen glücke einem Cirkus von circa 8 *m* Durchmesser und 1.2 *m* äusserer Höhe. Dasselbst hätten 40.000 Millionen Grieskörner, Molekel, Platz.¹⁾ Mit derselben Vergrößerungsbrille betrachtet

¹⁾ Zur Berechnung der Molekelzahl habe ich die Form eines Blutkörperchens (Hermann, Handbuch der Physiologie IV. pag. 11) aus Papier ausgeschnitten und dem Gewicht nach die Fläche auf ein Rechteck reducirt und dann den durch Rotation entstandenen Cylinder berechnet.

würde das Sperma eines Menschen einer breitgedrückten Riesensbirne¹⁾ von 5 m Länge gleichen und enthielte 7000 Millionen Grieskörner, Molekel. Solch ein Same enthält aufgespeichert ungezählte zur Vererbung bereite Eigenschaften. Wenn wir auch dieses Wunder ebensowenig wie das Wunder des Lebens jemals werden erklären können, so zeigt uns diese Riesenzahl der in einem einzigen Sperma enthaltenen Molekel doch die Möglichkeit einer weiteren Erforschung und Erhellung dieses dunklen Gebietes. — Wenn ich 1 mg Wasser mit derselben Vergrößerungsbrille betrachte, so käme das gleich einem Bergmassiv, das 1 km lang, breit und hoch ist; dasselbe enthält 10^{18} Grieskörner, Molekel. (Diese Zahl 10^{18} ist in der Grössenordnung gleich der Anzahl der Molekel in einem Cubikcentimeter Gas.)

Sie werden, meine Herren, diesen Zahlenangaben über die winzige Kleinheit der Moleküle einiges und vielleicht nicht unberechtigtes Misstrauen entgegenbringen. Nun ist es aber merkwürdig, dass wir mittelst ganz anderer Schlüsse zu ungefähr denselben Werthen über die Grösse der Molekel gelangen können. Lassen Sie mich noch einige solcher Methoden Ihnen rasch skizzieren.

Wenn man ein kleines Flüssigkeitshäutchen, eine Seifenblase, erzeugt, so lässt sich unschwer die Dicke desselben durch Interferenz des Lichtes, Abwägen u. dgl. bestimmen. Ein solches Flüssigkeitshäutchen verhält sich wie eine elastische Membran; wenn ich dasselbe auseinanderziehe, muss ich Arbeit leisten. Ich stelle mir nun die Aufgabe, ein bestimmtes Flüssigkeitshäutchen zunächst auf die doppelte Oberfläche auszudehnen, wodurch die Dicke auf die Hälfte reducirt wird, und kann diese Arbeit experimentell bestimmen. Theoretisch kann ich nun im Geiste weiterarbeiten; ich zerre das Häutchen solange, bis die Dicke nur mehr 1 Tausendstel geworden ist, und die erforderliche Arbeit lässt sich naturgemäss unschwer berechnen. Es entsteht nun die Frage, wie weit kann ich diese Verdünnung des Häutchens treiben? Diese Grenze erfahre ich durch eine Ueberlegung (Thomson), die folgendermassen lautet. Ich nehme das ganze Flüssigkeitshäutchen und verdampfe es. Die Verdampfungswärme, respective Verdampfungsarbeit ist eine in der Physik

¹⁾ Ich modellirte zunächst in vielfacher aber bekannter Vergrößerung ein Sperma aus Wachs; ein Zusammenrollen derselben Wachsmasse zu einer Kugel liess dann das Volumen berechnen.

längst bestimmte Zahl. Wenn ich für mein Häutchen diese Verdampfung durchführe, so heisst das: ich habe die Moleküle vollständig auseinandergerissen. Nun ist klar, dass, wenn ich dasselbe Flüssigkeitshäutchen mechanisch auseinanderzerre, ebenderselbe Werth der Verdampfungsarbeit mir die äusserste Grenze jener Arbeit angibt, welche ich mechanisch in dieses Flüssigkeitshäutchen hineinstecken kann, ohne es zu zerreißen. Ebenderselbe Werth lässt mich aber auch die schliesslich kleinste Dicke des Häutchens berechnen und dieselbe ist wieder circa ein Zehnmillionstel *mm*, dieselbe Grössenordnung, die wir früher in der kinetischen Gastheorie gefunden.

Die folgende Methode bedient sich elektrischer Erscheinungen. Wenn ich den elektrischen Strom mittelst zweier Platinbleche in angesäuertes Wasser einleite, so entsteht eine Gegenkraft, die sogenannte elektrische Polarisation, welche davon herrührt dass die beiden Platten sich mit Sauerstoff und Wasserstoff überziehen; bei allmählichem Einleiten eines schwachen Stromes und Steigerung desselben wird diese Polarisation in einem gewissen Moment ihr Maximum erreichen und das ist natürlich jener Moment, in welchem die beiden Platten vollständig mit Gas überzogen sind. Die hiezu nöthige Stromenergie lässt sich selbstredend ganz genau messen. Bezeichnen wir den Werth derselben für 2 bestimmte Platten mit *E*. Wenn ich mir nun plötzlich alle Contacte gelöst und die beiden Platten isolirt aus der Flüssigkeit herausgebracht denke, so wird die eine positiv, die andere negativ elektrisirt sein. Die beiden Platten ziehen einander an und diese Anziehung der Platten liefert mir eine gewisse mechanische Arbeit. Diese Arbeit wird umso grösser sein, auf je nähere Distanz die Platten gegeneinander gezogen werden; dieselbe kann aber unter keiner Bedingung grösser werden als die in den Platten aufgespeicherte elektrische Energie, und das ergibt eine Grenze, bis zu welcher wir die Platten bei Anziehung einander nähern können. In Wirklichkeit sind die Platten viel zu uneben, als dass dieser Grenzwert wirklich erreicht werden könnte; derselbe ist wieder circa 1 Zehnmillionstel *mm*, d. h. enger lassen sich die Platten nicht aneinander bringen, wegen der an denselben absorbirten Gasschichte von der Dicke eines Molekels.

Ein weiterer diesbezüglicher Schluss wäre folgender: Wenn wir ein Milligramm Wasser elektrolytisch zersetzen, so reicht diese Wassermenge hin, eine Fläche von etwa 30.000 *cm*² zur Hälfte mit Sauerstoff und zur Hälfte mit Wasserstoff zu

überziehen. Mit einem Cubikcentimeter Wasser könnte ich 30.000.000 cm^2 mit Sauerstoff resp. Wasserstoff bedecken. Denken wir uns also ein parallelepipedisches Gefäss, welches genau einen Cubikcentimeter Wasser fasst. Dieses Gefäss sei sehr schmal und habe dementsprechend zwei riesig grosse Seitenflächen. Diese Seitenflächen seien aus Platin und der Strom gehe durch die schmale Wasserschichte hindurch. Da wir nur 1 cm^3 Wasser zur Verfügung haben, so werden wir mit den beiden Platinblechen umso enger aneinandergehen müssen, je grösser ihre Flächen sind. Können wir nun diese Flächen unendlich gross resp. den Zwischenraum unendlich klein machen? Nein, denn der Cubikcentimeter Wasser bedeckt vollständig in Gas verwandelt je 15.000.000 cm^2 mit Gas. Es ist also das Maximum der Metallseitenflächen 15.000.000 cm^2 d. h. wir können die beiden Platinbleche nicht näher aneinanderrücken als $\frac{1}{15.000.000}$ cm. Es ist dann zwischen denselben der Länge nach nur mehr ein Molekel Wasser.

Es ist wohl höchst wunderbar, dass alle diese verschiedenen Methoden, — und ich könnte deren noch einige anführen — so ungefähr zu denselben Werthen führen. Und solche Betrachtungen dürften ein eventuelles Aufgeben der molecularen Vorstellungsweise ungemein erschweren.

Die Molekel sind, wie Maxwell sich ausdrückt, die Bausteine, aus denen *ER* die Welt geschaffen. Das Molekül bleibt gleich, ob wir es aus Verbindungen gewinnen, die vor unzähligen Jahrhunderten entstanden, ob wir dasselbe mit dem Spectroskop in den fernsten Nebelflecken oder in den Spectralröhren unserer Laboratorien beobachten; während die Dimensionen der Sonne, Erde u. s. w. veränderlich sind, scheinen jene Molekel als das Ewige, das Unwandelbare.

Anders denken Maxwell's Nachfolger. Speciell die englische Schule weiss eine Reihe neuer Erscheinungen der radioactiven Substanzen und Kathodenstrahlen nur dadurch zu erklären, dass sie die Atome in noch viel kleinere Bestandtheile zertrümmert. Diese neuesten Speculationen haben etwas ungemein Bestrickendes, und sollten diese Anschauungen in ihrem weiteren Verlaufe sich als richtig erweisen, so müssten wir unsere Längentabelle, die uns bei den Betrachtungen heute Abend als Führer diente, noch weit nach rechts hin erweitern, und wir stünden gerade jetzt in einer Epoche, wo wir die Grenzen des Erkennens nach unten hin hinauszurücken im Begriffe stehen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1900

Band/Volume: [48](#)

Autor(en)/Author(s): Lecher Ernst

Artikel/Article: [An den Grenzen unseres Erkennens 225-243](#)