

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die Bildung der Erdalkaliperoxyde**

**Engler, Carl**

**Heidelberg, 1910**

Über Äther und Materie

[urn:nbn:de:bsz:31-289891](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289891)

Sitzungsberichte  
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Stiftung Heinrich Lanz  
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

==== Jahrgang 1910. 16. Abhandlung. ====

## Über Äther und Materie

(Vortrag, gehalten in der Sitzung der Gesamt-  
akademie am 4. Juni 1910)

von  
*Philipp J.*  
**P. LENARD**  
in Heidelberg

Eingegangen am 1. Juli 1910



Heidelberg 1910

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Nr. 473.

Blattauschnitt  
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Mitteltisch, akademischer Vortrag

# Über Äther und Materie

Verlesen gehalten in der Sitzung der Gesamt-  
akademie am 4. Juni 1870

P. LEONARD

Heidelberg am 2. Juli 1870



Heidelberg 1870

Der Vorstand der Universitätsbibliothek

Wenn ein Naturforscher bei dieser Gelegenheit das Wort ergreifen soll, so ist es vielleicht angebracht, daß er auf die all-gemeinste Frage eingeht, welche ihm vorgelegt werden kann, nämlich die Frage: wie denn in seiner Vorstellung die Welt aussehe. Um hierüber zu reden, muß er vorerst konstatieren, daß seine Aussagen sich nur auf jenen Teil der Welt beziehen werden, welcher quantitativer Erforschung mit Hilfe der Sinnesorgane zugänglich ist. Gerade das Quantitative, die Möglichkeit, alle Resultate zahlenmäßig immer wieder mit der Wirklichkeit zu vergleichen und an ihr zu prüfen, ist es, was die Naturwissen-schaft vor den Geisteswissenschaften auszeichnet. Wir können diesen, der quantitativen Erforschung durch die Sinne zugäng-lichen Teil der Welt auch die materielle Welt nennen; nur um diese handelt es sich für den Naturforscher, von dieser hat er sich ein Bild gemacht. Und zwar sind die Bilder des Natur-forschers von der Art, wie es wohl HERTZ zuerst klar ausge-sprochen hat, daß die denotwendigen Folgen dieser Bilder stets wieder Bilder sind von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Durch diese Fundamenteigenschaft seiner Bilder kann der Naturforscher Zukünftiges voraussagen. In dem quantitativen Zutreffen dieser Voraussagen liegt einerseits die schon erwähnte Prüfung der Bilder auf ihre Richtigkeit, andererseits aber auch der praktische Wert der Naturwissen-schaft.

Nun sind aber diese Bilder des Naturforschers doch von zweierlei Art. Quantitativ sind sie immer; sie können aber — und das ist die erste Art — sich sogar ganz darin erschöpfen, quantitative Beziehungen zwischen beobachtbaren Größen zu sein. In diesem Falle sind sie vollkommen darstellbar in Gestalt mathe-matischer Formeln, meist Differentialgleichungen. Dies ist der Weg, den KIRCHHOFF und HELMHOLTZ bevorzugt haben, von KIRCHHOFF die mathematische Beschreibung der Natur genannt.

Beispiele solcher Bilder sind: NEWTONS Gravitationsgesetz oder MAXWELLS Gleichungen der Elektrodynamik. Die denknöthigen Folgen der Bilder, in deren Entwicklung die Benutzung und zugleich die Prüfung der Bilder besteht, sind dann die mathematischen Folgen jener Gleichungen, und auch weiter nichts.

Man kann aber weitergehen — und dies ergibt die zweite Art der Bilder —, indem man sich von einer Überzeugung leiten läßt, ohne welche die Naturforschung sicherlich nie Erfolg gehabt hätte. Von der Überzeugung nämlich, daß alle Vorgänge in der Natur — in der unbelebten Natur wenigstens — bloße Bewegungsvorgänge sind, das ist nur in Ortsveränderungen ein für allemal gegebenen Stoffes bestehen. Dann würde es sich in jedem Falle um Mechanismen handeln und die Gleichungen, welche wir uns als Bilder erster Art gemacht haben, müssen Gleichungen der Mechanik sein, sie müssen ganz bestimmten Mechanismen entsprechen, und dann können wir auch geradezu diese Mechanismen als die Bilder betrachten, die wir uns von den Naturvorgängen gemacht haben. Wir haben dann mechanische Modelle, dynamische Modelle der Dinge als Bilder derselben in unserem Geiste. Die mechanischen Modelle und die Gleichungen, also die beiden Bilderarten, sind, wenn sie beide richtige Bilder sind, einander in den Resultaten, welche sie ergeben, vollkommen äquivalent. Dabei aber haben die Modelle einen sehr großen Vorzug vor den bloßen Gleichungen. Nicht nur daß sie mehr Befriedigung geben, weil wir in dem Modell ein Bild haben, das sehr viel unmittelbarer auf die abgebildete Außenwelt sich bezieht als die Differentialgleichung, sondern vor allem gestatten uns die Modelle bei ihrer Benutzung nicht nur unser mathematisches Denkvermögen zu verwerthen, sondern auch unsere geometrische und dynamische Anschauung; denn die Modelle sind Mechanismen, welche im dreidimensionalen Raum sich bewegen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit dann, wenn wir nicht mit schon fertigen Bildern arbeiten, um damit unzweifelhaft zutreffend zukünftige Erscheinungen vorauszusagen, sondern wenn es sich um probeweise Vorhersagen mit probeweise gemachten Bildern handelt, das ist bei der Erforschung der Natur. So sind z. B. die Strukturformeln der Chemie, namentlich seit sie auch dreidimensional gedacht werden, echte solche Modelle der Moleküle, um deren Untersuchung es sich handelt. Wie würde der Chemiker Erfolg haben, wenn er nicht in diesen

seinen Modellen die Atome geometrisch im Raume hin und her sich verschieben und so in der Vorstellung probeweise sich umgruppieren lassen könnte?

Es muß auch hervorgehoben werden, daß bei der Herstellung der Bilder erster Art jederzeit die mechanischen Modelle eine große Rolle gespielt haben. So ist MAXWELL zu seinen berühmten Differentialgleichungen gekommen, indem er von gedachten Mechanismen im Äther ausging. Aber auch umgekehrt: das beste Bild erster Art, fertig mathematisch formuliert vorliegend, befriedigt nicht für die Dauer. Der Mensch ist offenbar dazu angelegt, einen tieferen Sinn darin zu suchen und weiter zu fragen nach dem Mechanismus der Sache. So war auch NEWTON von seinem Gravitationsgesetze — trotz der außerordentlichen Leistungen dieses Bildes — selber nicht völlig befriedigt. Die Frage nach einem versteckten, aber doch vorhandenen Mechanismus, der die beiden nach seinem Gesetz aufeinander wirkenden Massen zusammentreibe, schien ihm sogleich weiterhin vorzuliegen, wenn auch diese Frage zu seiner Zeit unangreifbar war und, wie wir noch sehen sollen, auch heute noch schwer angreifbar erscheint. Das Streben, über die bloße mathematische Beschreibung der Natur hinaus ihren Mechanismus zu ergründen, dynamische Modelle als Bilder von den Dingen sich zu machen, ist also so alt als die Dynamik selbst, ist offenbar dem Menschen tief eingewurzelt. Lord KELVIN und HERTZ hatten es in der neueren Zeit in besonderen Vordergrund gestellt.

Die Frage ist nur diese: ob es uns auch gelingt, auf diesem Wege die Wirklichkeit richtig abzubilden; ob der Menscheng Geist überhaupt darauf eingerichtet ist, die gesamte — sagen wir nur die unbelebte — Natur in dieser Weise in sich abzubilden. Gerade heutzutage treten die entschiedensten Zweifel hierüber auf, und vielleicht gelingt es mir, Ihnen noch heute außer von positiven Ergebnissen auch etwas von den Schwierigkeiten zu zeigen, welche zu solchen Zweifeln Anlaß gaben.

Wollen wir aber fortschreiten, so scheint es mir, müssen wir an dem Postulat, daß unser Geist zum Begreifen — nicht nur zum mathematischen Beschreiben — der Natur eingerichtet sei, zunächst festhalten. Wir tun dies nunmehr und so kann ich auch sagen, wie unser Bild der materiellen Welt aussieht, und dann auch, worin seine heutigen Schwierigkeiten bestehen:

Alles, was in dieser Welt geschieht, ist Bewegung, Ortsveränderung ein für allemal gegebenen Stoffes.

Von Neuauftreten, sowie von Verschwinden von Stoff ist nirgends das mindeste Anzeichen vorhanden. Es wird sich also weiter nur darum handeln, anzugeben, welcher Art der Stoff ist, wie er im Raum verteilt ist und welcher Art seine Bewegungen sind, und da müssen wir zuerst die fundamentale Angabe machen, daß der Stoff, das Bewegte, woraus wir die gesamte materielle Welt bestehen sehen, von zweierlei Art ist: Materie und Äther.

Aus Materie bestehen alle die greifbaren Körper um uns, die festen, flüssigen und gasförmigen, unser eigener Körper, alles was aus den rund 100 Elementen, das ist Atomsorten der Chemie aufgebaut ist. Denn in unserem Bilde hat die Materie, wie wohlbekannt, körnige Struktur. Die Körner nennen wir Atome, und es gibt deren wie gesagt rund hunderterlei Sorten, die im allgemeinen sich nicht ineinander verwandeln. Geben wir unserm Bilde etwa 10-millionenfache Vergrößerung, so werden diese Körner erbsengroß. Sie sind gewöhnlich zu mehreren gruppiert und diese Gruppen, welche selbständig beweglich sind, nennen wir Moleküle. So haben wir z. B. im Wasserdampf je zwei Atome Wasserstoff und ein Atom Sauerstoff fest gruppiert zu einem selbständig beweglichen Wassermolekül. Alle Materie, die wir um uns her sehen, ist nur Anhäufung solcher Moleküle, und dieses Bild der Materie hat heute außerordentliche Feinheit erreicht. Eine Fülle von quantitativen Zügen enthält es, die alle schon unzählbare quantitative Proben an der Wirklichkeit bestanden haben und uns untrügliche Führer durch die sämtlichen Erscheinungen der unbelebten Materie geworden sind. Nichts ist dem Naturforscher unzweifelhafter, als daß er mit diesem Bilde von der Materie auf völlig treffendem Wege ist.

Bemerkenswert sind die ganz großen Moleküle. Im Wasserdampfmolekül haben wir nur drei Atome. Wenn aber zehntausend und hunderttausend von Atomen ein Molekül bilden, das dann schon eine ganze komplizierte kleine Welt für sich ist, wie es z. B. ein Protoplasmamolekül sein muß, dann können die Moleküle das festhalten, was wir Geist nennen. Sie werden dann Träger der wunderbaren Erscheinungen des Lebens, worüber der Naturforscher von heute mit seinen Bildern, die ihm sonst

so außerordentliches leisten, nichts zu sagen hat. Nur einen Vergleich aus dem ihm verständlichen Kreise seiner Bilder kann er etwa angeben<sup>1)</sup>, einen Vergleich, der zeigt, daß eine Veränderung in der Größenanordnung der Atomanhäufung in der Tat ganz neue Eigenschaften mit sich bringen kann. Gehen wir nämlich zu noch viel größeren Atomanhäufungen über, so daß wir zu Kugeln von der Größe des Mondes, dann der Erde und schließlich der Sonne kommen. Unser Mond ist gewiß eine gewaltige Atomanhäufung, aber er enthält zu wenig Atome, um eine Gashülle, eine Atmosphäre, festzuhalten; dazu ist, wie unsere Atombilder ganz eingehend und quantitativ es erklären, schon eine viel größere Atomanhäufung nötig, wie es z. B. die Erde ist. Die Erde hält eine Gashülle fest, und sie tut das vermöge der genügenden Größe ihrer Masse. Aber die Erde wieder ist nicht groß genug, um eine dauernde Leuchte im Raume zu bilden, wie die rund millionmal größere Sonne es ist. Nur so ganz große Anhäufungen von Atomen können lang dauernd die zum Leuchten nötige hohe Temperatur behalten.

(Äther.) Damit sind wir nun auch zu den größten Anhäufungen von Materie gelangt, die wir überhaupt finden, den Sonnen, den im Himmelsraum verstreuten Fixsternen. Damit sehen wir aber zugleich auch ein, wie unbedeutend wenig die Materie in der Welt ist; denn wie winzig sind diese Sonnen im Vergleich zu den von Materie freien Zwischenräumen von einer Sonne zur nächsten, die so groß sind, daß der schnelle Lichtstrahl Jahrtausende braucht, um sie zu durchlaufen. Da sehen wir so gut wie den ganzen unendlichen Raum noch frei. Aber er erscheint nicht leer in unserem Bilde, sondern er ist ganz und gar erfüllt von jener anderen, zweiten Stoffart, die nicht Materie ist, vom Äther.

Das Auge, dieses vornehmlichste Eingangstor aller unserer Kenntnis zeigt uns, daß von den fernsten Fixsternen, die wir noch eben erkennen können, bis zu uns her lückenlos Äther den Raum erfüllen muß. Denn das Licht von jenen Sternen — das ist ein unzweifelhaftes Ergebnis der Naturforschung — ist eine Erzitterung, welche von jenem Sterne erregt bis zu uns herkommt, allmählich sich ausbreitend, ganz wie Wellen auf Wasseroberflächen laufen, wenn auch bei diesen Wellen des Lichtes mit

<sup>1)</sup> Der hier vorgebrachte Vergleich findet sich bei O. LODGE, „*Life and Matter*“.

300000 km Geschwindigkeit in der Sekunde. Der Takt der vom Sterne erregten Erzitterung wird so scharf und ungeändert bis zu uns her übertragen, daß BUNSEN und KIRCHHOFF hiernach die fernen Sterne chemisch zu analysieren vermochten. Dann muß jener ganze Raum erfüllt sein von einem Etwas, das fähig ist zu erzittern und die von einer Seite her empfangene Erzitterung von Punkt zu Punkt mit jener angegebenen Geschwindigkeit getreu zu übertragen. Eben dieses Etwas nennen wir den Äther, und die angegebene Überlegung ist der Existenzbeweis des Äthers. Wir werden aber bald sehen, daß der Äther noch viele andere Funktionen hat, ja so viele, daß der Naturforscher von heute noch große Schwierigkeiten findet, sich ein brauchbares Bild von dem so vielartig wirkenden Äther zu machen. Wie ein gewaltiger, unermesslicher Mechanismus, den ganzen Raum erfüllend, erscheint uns dieser Äther, in welchem alles eingebettet ist, was wir kennen. Wir wenden uns sofort zu seiner näheren Betrachtung; nachher erst wollen wir noch weiteres über die in ihm eingebetteten Spuren, die materiellen Atome, hinzufügen.

Wir müssen dabei die Eigenschaften des Äthers nehmen, wie wir sie eben finden, und sie in einem Bilde zu vereinigen suchen, und uns nicht stören lassen — wie man, sehr zu Unrecht, glaube ich, oft getan hat — davon, daß diese Eigenschaften so ganz andere sind als die der festen, flüssigen oder gasförmigen Materie. Denn der Äther ist eben nicht Materie; nur zum Vergleich ist es uns erlaubt, die Materie heranzuziehen. Wir dürfen von den Massen des Äthers nichts weiter von vornherein annehmen, als daß sie den allgemeinen Gesetzen der Bewegung, welche uns allerdings von der Materie her geläufig sind, folgen. - 2

Halten wir uns zuerst an das Licht, das uns die Kunde von der Existenz des Äthers gegeben hat, so ist zu sagen: daß das Licht unzweifelhaft eine transversale Erzitterung ist, d. h. daß die Erzitterung quer zur Fortpflanzungsrichtung erfolgt, oder, wenn ich es in gewöhnlicher Sprache andeute, daß die Lichtwellen Berge und Täler haben, nicht Verdichtungen und Verdünnungen wie die Wellen des Schalles, welche longitudinale Wellen in der Luft sind. Schon alte optische Untersuchungen, nämlich die über die Polarisation des Lichtes, haben diese Transversalität der Lichtwellen gezeigt. Transversale Wellen gibt es aber nicht in Gasen oder Flüssigkeiten, nur in festen, starren

✓ Körpern. Wir erfahren also, daß der Äther in bezug auf die Wellen in ihm nicht wie eine Flüssigkeit oder ein Gas, sondern wie ein fester, starrer Block sich verhält. Dabei durchdringen wir und alle Materie ihn doch so leicht, daß von einem Hindernis bei dieser Durchdringung nicht das mindeste bemerkbar ist. Eben dieses meinen wir ja, wenn wir den Äther im Gegensatz zur Materie als nicht greifbar bezeichnen. Wir dürfen nicht vergessen, daß wir nicht nur relative Bewegungen hier im Saale ausführen, sondern daß sogar der ganze Saal mit uns und samt der Erdkugel sich mit nicht geringer Geschwindigkeit durch den Äther hindurchbewegt, durch diesen Äther, der für seine eigenen Erzitterungen wie ein starrer Block sich verhält: schon eine erste, merkwürdig erscheinende Schwierigkeit beim Vordringen zum Mechanismus des Äthers. Fragen wir nach weiterem in dieser Beziehung, so ist es vor allem die Frage: wird der Äther durch die Bewegung der Materie in ihm, z. B. der ganzen Erdkugel, in Mitbewegung versetzt oder nicht? Die Antwort wird durch eine von den Astronomen beobachtete Erscheinung erteilt, einer kleinen Verschiebung der Örter der Fixsterne je nach Bewegung der Erde in ihrer Bahn, Aberration genannt. Die Erscheinung ist sehr bald, nachdem O. RÖMER die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zuerst gemessen hatte, gesucht und auch gefunden worden, und zwar entspricht die Größe der beobachteten Aberrationsverschiebung genau dem Ruhens des Äthers in dem beobachtenden Fernrohre, während doch dieses mit der gewaltigen Geschwindigkeit der ganzen Erde in ihrer Bahn fortbewegt ist. Also auch in anderen geschlossenen Räumen, hier im Saal, haftet der Äther nicht an den Wänden, sondern er bläst frei durch alles hindurch, durch die ganze Erdkugel, so daß er von deren Bewegung in seiner großen Masse nicht affiziert wird. Wir müssen also festhalten, daß der Äther durch Geschwindigkeit der Materie in ihm nicht beeinflußt wird, jedoch auf Geschwindigkeitsänderung (Beschleunigung) reagiert er, worauf wir noch zurückkommen.

✓ (Gyrostatischer Äther.) Wie haben wir uns also die Massen des Äthers vorzustellen, damit sie die Eigenschaft des innerlich starren und doch ohne Widerstand durchdringlichen Blockes erfüllen? Da kommen wir auf das von Lord KELVIN benutzte Bild des gyrostatischen Äthers. Wir müssen uns vorstellen, daß der Äther in heftigem inneren Wirbeln begriffen ist.

- ✓ Als ein Kontinuum dürfen wir uns ihn keinesfalls vorstellen, wenn wir Mechanismus in ihm suchen. Nehmen wir an, er sei aus lauter einzelnen Abteilungen, die wir kurz Zellen nennen mögen, zusammengestellt; der Masseninhalte jeder Zelle sei in Rotation begriffen; die Rotationsachse habe bei jeder Zelle eine andere
- 2) Richtung. Kurzum der Äther bestehe aus lauter einzelnen rotierenden Massen mit im großen ungeordneter Achsenrichtung. Die Eigenschaften rotierender Massen sind gut studiert. Wir haben danach folgendes: Die einzelnen rotierenden Massen, Zellen, sind ohne allen Widerstand gegeneinander verschieblich; das Vorhandensein der Rotation hindert das nicht, und insofern haben wir die Eigenschaften einer Flüssigkeit; aber die Rotation bewirkt, daß Verdrehungen der einzelnen Zellen um beliebige Achsen nicht möglich sind, und dies ergibt die Eigenschaften des innerlich starren Blockes. Der Unterschied zwischen der Starrheit von Materie im festen Aggregatzustand und der Starrheit dieses gyrostatischen Äthers ist nur dieser, daß im festen Körper die Teile keine Verdrehungen dulden, weil sie von den Nachbartheilen durch Kräfte festgehalten werden, was aber auch zugleich ihre Verschieblichkeit hindert; im Äther werden die Verdrehungen durch die inneren Rotationen verhindert, was die Verschieblichkeit nicht beeinflußt. Denken wir uns nun z. B. eine Kugel (Materie) durch ein solches gyrostatisches Medium bewegt. Sie wird keinerlei Widerstand erfahren. Der Widerstand, welchen eine Kugel bei Bewegung in einer materiellen Flüssigkeit erfährt, rührt von zweierlei her: erstens Reibung bei Verschiebung der Flüssigkeitsschichten gegeneinander; diese ist im Äther nicht vorhanden, da wir keine Wärmebewegung seiner Teile haben. Zweitens Wirbel (Kielwasser), die sich hinter der bewegten Kugel bilden; diese können im Äther ebenfalls nicht zustande kommen, da die vorhandenen Rotationen das Zustandekommen weiterer Rotationen verhindern.<sup>2)</sup> Die Kugel wird sich also ungehindert ohne Widerstand durch dieses Medium bewegen. Das dabei stattfindende seitliche Ausweichen des Mediums, welches Massenverschiebung im Medium erfordert, würde nur eine scheinbare Vergrößerung der Masse der Kugel zur Folge haben. Wir werden zum Schlusse in der außerordentlich geringen Raumerfüllung der Materie eine genügende

<sup>2)</sup> Hierzu würde auch schon die Reibungslosigkeit des Äthers genügen; denn ohne Reibung entstehen keine Wirbel, sowie ohne Reibung auch keine vorhandenen Wirbel verschwinden können.

Erklärung dafür finden, daß Erscheinungen, welche solchem Ausweichen des Äthers um bewegte Materie herum entsprächen, bisher nicht beobachtet worden sind. Vielmehr werden wir das Mitbewegungsetzen von Äthermassen und also scheinbare Massenvergrößerungen in anderer Weise eine Rolle spielen sehen.

Sehen wir nun, um den Äther weiter zu untersuchen, seine anderen Funktionen an. Er ist nicht nur Träger der sichtbaren Lichtwellen, er trägt auch die ultravioletten, die ultraroten und die elektrischen Wellen, die sämtlich gleiche Eigenschaften, nur verschiedene Längen haben. Diese Längen gehen von zehntausendstel Millimetern bis zu Kilometern. Die letzteren, ganz langen Wellen sind die elektrischen, mit welchen seit HERTZ drahtlos telegraphiert wird. Aus der Identität der elektrischen und der Lichtwellen sind wir sicher, daß derselbe Äther, der uns das Licht, Wärme und alle Energie von der Sonne bringt, auch die elektrischen und magnetischen Kräfte vermittelt. „Ein Äther für Licht, Wärme und Elektrizität“, so drückte Lord KELVIN die große Errungenschaft der elektrischen Untersuchungen von HERTZ aus. Alle diese Wellen, auch die elektrischen, sind transversal. Longitudinale Wellen im Äther haben sich trotz Suchens, mit guter Gelegenheit dazu, nicht gefunden. Daraus folgt, daß der Äther inkompressibel ist, oder doch so wenig kompressibel, daß Longitudinalwellen in ihm mit einer die Lichtgeschwindigkeit sehr vielfach übersteigenden Geschwindigkeit und also nur unmerklichen Amplitude sich ausbreiten könnten. Die einzelnen Ätherzellen halten also konstante Abstände voneinander ein. Dies kommt der Annahme gleich, welche HERTZ seiner Mechanik zugrunde legte, daß es sich nämlich in der materiellen Welt in letzter Linie um die Bewegung von Massen handle, welche in starren Verbindungen miteinander stehen. HERTZ sucht in seiner Mechanik ebenfalls ein dynamisches Modell der materiellen Welt, er geht aber nicht ein auf die spezielle Art der Bewegungen der Massen der Materie oder des Äthers.

(Kräfte nach dem NEWTON'schen Gesetz.) Aber noch eine andere Funktion muß der Äther haben, und zwar — wie wir zunächst annehmen müssen — wieder derselbe Äther. Er muß auch die Kräfte der universellen Gravitation vermitteln, diese Kraftart, welche die Sonnen- und Planetensysteme zusammenhält und welche hier auf der Erde den freigelassenen Stein zu Boden fallen macht. Die Vorstellung von der Mechanik dieser

Erscheinung ist diese: Schon wenn der Stein noch ruht, relativ zur Erde, wenn er noch festgehalten ist, ist die Bewegung vorhanden in dem Medium zwischen ihm und der Erde, im Äther, eine Bewegung, die immer im Äther ist, unmittelbar verknüpft mit den Atomen der Materie, die in ihm eingebettet sind und wesentlich zu diesen Atomen gehörend und um dieselben gruppiert. Lassen wir den Stein los, so ist seine Fallbewegung keine neue Bewegung, sondern es ist nur die schon vorhanden gewesene Bewegung des Äthers, die nur jetzt, da sie sich auf die sichtbare Materie, den Stein, übertragen hat, sichtbar geworden ist. Wir sind noch nicht im mindesten in der Lage, über dieses Wunder des fallenden Steins, das wir dank GALILEI und NEWTON und ihrer Nachfolger so fein mathematisch beschreiben können, weiteres anzugeben. Nur eines ist uns Anhalt für Fortschritte hierin: wir haben neuerdings erkannt, daß die Atome der Materie, an welchen diese Äthervorgänge hängen, aus positiver und negativer Elektrizität zusammengesetzt sind. Wir wissen weiter — schon seit COULOMB —, daß die Elektrizitäten aufeinander auch genau solche NEWTON'schen Kräfte ausüben wie Erde und Stein aufeinander. Nehmen wir also jetzt statt zweier gegeneinander gravitierender Atome, die aus Elektrizitäten zusammengesetzt sind, zwei einzelne elektrische Quanten für sich allein, dann haben wir ein einfacheres und zugleich fundamentaleres Problem. Wir werden sehen, wieviel Schwierigkeiten schon dieses bietet. Wir müssen hier von den Kraftlinien ausgehen, welche von FARADAY und MAXWELL zu dem Zweck ersonnen waren, diese elektrischen (und wie wir sehen werden, auch die magnetischen) Kräfte darzustellen. Die Darstellung ist in der Tat eine ganz vollkommene. Die Linien geben uns Antwort auf alle Fragen, die wir bezüglich des Verhaltens und der Wirkung des dargestellten elektrischen Systems stellen könnten. Man muß nur immer denken, daß diese Linien sich wie gespannte Fäden verhalten, die gleichzeitig sich seitlich voneinander drängen. So formen und ordnen sie sich auch, und so wirken sie. Jede solche elektrische Kraftlinie fängt an, wo positive Elektrizität sitzt und endet, wo negative Elektrizität sitzt; nie endet eine frei im Raum, wo keine Elektrizität sitzt. Wir sind infolgedessen sicher, daß es gleichviel positive und negative Elektrizität in der Welt gibt, soweit wir sie irgend kennen. Wir können auch nie Elektrizität

erzeugen, sondern nur die vorhandene hin- und herschieben, die entgegengesetzten Elektrizitäten trennen oder wieder vereinigen; darin bestehen alle elektrischen Vorgänge, die wir kennen. Die Vereinigung erfolgt von selbst, wenn kein Hindernis da ist. Eben auch in dieser Hinsicht wirken diese Kraftlinien wie gespannte Fäden. Die Gleichungen, welche das mathematische Bild — das Bild erster Art — dieser Vorgänge auch mit enthalten, die MAXWELL'schen Gleichungen, sind als die mathematische Darstellung eben dieser FARADAY'schen Kraftlinien aufzufassen.

Bevor wir nun auf die Frage eingehen, welcher Mechanismus im Äther diesen elektrischen Kraftlinien entspreche, können wir sogleich die andere, ebenfalls nach dem COULOMB'schen Gesetz wirkende Kraftart mit einbeziehen, welche außer der elektrischen Kraft noch existiert — zunächst wie ein eigentümliches Gegenstück ohne weitere Beziehung neben ihr stehend —, die magnetische Kraft.

Auch die magnetischen Kräfte lassen sich durch Kraftlinien vollkommen darstellen. Diese magnetischen Kraftlinien haben genau die gleichen Eigenschaften wie die elektrischen Kraftlinien, nur sind sie im Gegensatz zu diesen immer in sich geschlossene Linien, sie enden nie und nirgends, was mit der Aussage übereinstimmt, daß es Magnetismus als etwas Besonderes, was an magnetischen Polen säße, überhaupt nicht gibt. Auch diese magnetischen Kraftlinien haben die Eigenschaft, sich wie gespannte und gegenseitig sich drängende Fäden zu verhalten und in jeder Hinsicht wie solche zu wirken. Hierdurch setzen diese Linien z. B. ein Stück Eisen in Bewegung, das man in ihr Bereich bringt, hierdurch treiben wir unsere Elektromotoren, was sich alles eingehend quantitativ auf Grund der Eigenschaften der Kraftlinien verfolgen läßt, und was auch im mathematischen Bilde der MAXWELL'schen Gleichungen enthalten ist.

Man kann die elektrischen und auch die magnetischen Kraftlinien durch geeignete Versuchsanordnungen auch unmittelbar sichtbar machen (die magnetischen z. B. durch Eisenfeile) und so ihren Lauf in Einzelfällen auch direkt experimentell studieren. Den Raum, in welchem elektrische oder magnetische Kräfte sich zeigen, in welchem also diese Linien verlaufen, nennen wir auch kurz ein elektromagnetisches Feld.

(Strömungen und Wirbel des Äthers.) Die elektrischen und die magnetischen Kräfte, welche also soviel Analogie miteinander haben, sind aber doch zweierlei, voneinander grundverschiedene Dinge; denn Magnetpole, von welchen die eine Kraftart ausgeht, sind etwas ganz anderes als elektrisierte Körper, von welchen die zweite Kraftart ausgeht. Wir haben also zweierlei verschiedene Mechanismen im Äther zu suchen, die beide wie gespannte und gegenseitig sich drängende Fäden wirken. Welches könnten diese so merkwürdig analogen und doch voneinander grundverschiedenen Mechanismen sein? Die Antwort ist nicht zweifelhaft. Wir kennen zweierlei und nur zweierlei Bewegungsarten in räumlich ausgedehnten, innerlich verschieblichen, inkompressiblen Massensystemen, welche beide genau nach solchen Kraftlinien sich gruppieren und doch gänzlich voneinander verschieden sind. Von den materiellen Flüssigkeiten und Gasen her sind diese Bewegungsarten bekannt und besonders durch HELMHOLTZ wohl studiert; es sind die Strömungen und die Wirbel. Wenn Strömungen im Inneren einer Flüssigkeitsmasse vorhanden sind, so beschreiben die einzelnen Teile der Flüssigkeit dabei Linien — Strömungslinien genannt —, welche genau die Gestalt und die Gruppierung dieser Kraftlinien haben. Auch enden Strömungslinien, wie die elektrischen Kraftlinien, niemals mitten in der Flüssigkeit; sie können nur dort enden bzw. anfangen, wo Flüssigkeit verschwindet, bzw. neu zugeführt wird, so wie die elektrischen Kraftlinien enden bzw. anfangen, wo Elektrizität der einen, bzw. der anderen Art sitzt. Die Strömungslinien können aber auch geschlossene, in sich selbst zurücklaufende Linien sein — wie es die magnetischen Kraftlinien sind —, welcher Fall eintritt, wenn Zu- oder Abfuhr von Flüssigkeit nirgends stattfindet und die Flüssigkeit nur innerlich kreist. Ganz dieselben Eigenschaften haben aber auch die Achsen von wirbelnden Bewegungen, welche in Flüssigkeiten sich finden können. Man nennt diese Achsen, welche im allgemeinen gekrümmt sind, Wirbelfäden. Wirbelfäden formen und gruppieren sich ebenfalls genau, wie die elektrischen und magnetischen Kraftlinien es tun; sie enden ebenfalls nie frei im Innern des Mediums, nur an den Grenzen desselben können sie enden, oder sie müssen in sich selbst zurücklaufen. In sich selbst zurücklaufende Wirbelfäden — dann auch Wirbelringe genannt — sind z. B. von den Rauchringen in Gasen her allgemein bekannt.

Wir haben also die Möglichkeit, daß beide Kraftlinienarten, elektrische sowohl als magnetische, entweder Strömungslinien oder auch Wirbelfäden im Äther sein könnten; sind die einen Kraftlinien, z. B. die elektrischen, Strömungslinien, so müssen die anderen, die magnetischen, Wirbelfäden sein, oder umgekehrt. Die Wahl zwischen beiden Möglichkeiten ist bis heute noch nicht unzweifelhaft getroffen. Folgendes sind die Schwierigkeiten dabei: Nehmen wir die elektrischen Kraftlinien als Strömungslinien im Äther, so müßten wir annehmen, daß jedes Quantum positiver (bzw. negativer) Elektrizität Ursprung und Ausströmungs-ort neuen Äthers sei und jedes Quantum negativer (bzw. positiver) Elektrizität ein Ort, wo Äther versinkt und verschwindet. Es würde dann der gesamte Äther einer fortwährenden Vernichtung und Neuerzeugung unterworfen sein, wofür in Wirklichkeit gar kein Anzeichen vorhanden ist; auch die Annahme etwa in verborgener Weise stattfindenden Rücktransportes des Äthers findet keinerlei Anhalt an bekannten Tatsachen.

Wenden wir uns zur zweiten Möglichkeit, daß es die magnetischen Kraftlinien seien, welchen die Strömungen im Äther entsprechen, so fällt die eben berührte Schwierigkeit vollkommen fort, denn die magnetischen Kraftlinien sind stets in sich selbst geschlossen, die ihnen entsprechenden Ätherströmungen sind nur innere Strömungen des Äthers ohne Ein- und Ausströmen. Es entsteht aber dann eine andere Schwierigkeit: es wären nämlich dann die elektrischen Kraftlinien Wirbelfäden im Äther, deren Anfänge und Enden dort sich finden, wo Elektrizität sitzt. Solche Wirbelfäden können sich aber in einem bereits innerlich rotierend angenommenen Medium nur aus den schon vorhandenen Rotationen bilden, da diese das Hinzukommen beliebiger weiterer Rotationen verhindern. Ein Wirbelfaden im gyrostatischen Äther könnte danach ein Raum sein, in welchem die Achsen der bereits vorhandenen Rotationen Drehungen erlitten haben, so daß die Verteilung der Achsenrichtungen nicht mehr ungeordnet, sondern in Richtung der Wirbelfäden geordnet ist. Erscheinungen, welche die hier berührten Verhältnisse illustrieren, sind z. B. an jedem Kreisel zu beobachten. Innere Verdrehungen, welche hiernach die Vorbedingung für das Zustandekommen von Wirbelfäden wären, verteilen sich aber (ohne Gleitflächen) in einem räumlichen Medium durchaus nicht so, wie es die darzustellenden elektrischen Kraftlinien tun; solche Drehungen können keine

Konvergenzen zeigen, während doch die elektrischen Kraftlinien überall dorthin konvergieren, wo Elektrizität sitzt.

Es ist das große Verdienst von V. BJERKNES, alle diese Verhältnisse und Schwierigkeiten mathematisch untersucht und diskutiert zu haben. BJERKNES selbst scheint der erstgenannten Wahl zuzuneigen, wobei das nach heutiger Kenntnis ungerechtfertigte Verschwinden und Neuauftreten von Äther als Schwierigkeit bestehen bleibt.

(Ein Wirbelfaden an jedem Elektron.) Ich glaube aber, man kann jeder Schwierigkeit entgehen, wenn man die zweite Wahl trifft (magnetische Kraftlinien = Strömungslinien, elektrische Kraftlinien = Wirbelfäden im Äther), und wenn man dazu annimmt, daß die wirklich beobachtete kontinuierliche Verteilung der elektrischen Kraft um elektrisch geladene Körper herum nur scheinbar kontinuierlich ist, daß nämlich in Wirklichkeit von jedem geladenen Körper aus eine bestimmte Anzahl von Kraftlinien — Wirbelfäden — ausgeht, welche Räume zwischen sich lassen, die von Wirbelfäden frei sind. Dies entspricht vollkommen einer Vorstellung, zu welcher Untersuchungen der letzten Zeit — auf welche wir zum Schlusse noch eingehen — geführt haben, in Bestätigung eines von MAXWELL<sup>3)</sup> und HELMHOLTZ schon frühe aus den Erscheinungen der Elektrolyse gezogenen Schlusses, der Vorstellung nämlich, daß die Elektrizität überall, wo wir sie finden, in einzelne Elementarquanten — auch Elektronen genannt — von bestimmter, unveränderlicher Größe abgeteilt ist. Schreiben wir den Kraftlinien, wie es schon FARADAY unter dem Eindruck seiner eigenen Naturbeobachtung getan hat, gesonderte Existenz zu — als Ätherwirbelfäden, wie wir annehmen —, so ergibt es sich aus dieser neuen Erkenntnis von selber, daß an jedem solchen Elementarquantum der Elektrizität eine bestimmte Zahl von Ätherwirbelfäden, im einfachsten Falle je ein solcher enden muß.<sup>3a)</sup> Nehmen wir dies an, wie wir für alles Folgende tun werden, so haben wir von jedem elektrisch geladenen Körper aus so viele

<sup>3)</sup> Herr O. HEAVISIDE hat mich darauf aufmerksam gemacht, daß MAXWELL schon vor HELMHOLTZ auf jenen Schluß hingewiesen habe („*Electricity & Magnetism*“, 1. Auflage, 1873, Kapitel Elektrolyse).

<sup>3a)</sup> Die Vorstellung von je einer elektrischen Kraftlinie an jedem Elektron habe ich schon seit mehreren Jahren gelegentlich in meiner Experimentalvorlesung vorgebracht; als der einzige Ausweg aus einer Reihe von Schwierigkeiten (s. w. u. im Text) erschien sie mir zuerst bei eingehendem Studium der Arbeiten von V. BJERKNES.

gesonderte Wirbelfäden divergierend, als Elementarquanten der Elektrizität auf ihn geladen sind. Der Eindruck der von einzelnen Punkten aus in beliebig großer Zahl ohne Diskontinuität divergierender Kraftlinien entstände dann in unseren Versuchen nur dadurch, daß wir stets Körper beobachten, an welchen eine Unzahl von elektrischen Elementarquanten sitzt.

Wir kommen also zur Vorstellung, daß an jedem Elementarquantum der Elektrizität ein Wirbelfaden im angrenzenden Äther hängt, unzertrennlich von dem Elektron, wesentlich zu ihm gehörend und mit seinem Ende stets an ihm haftend und sich mit ihm fortbewegend. Da wenigstens das negative Elektron selbst jedenfalls außerordentlich klein ist — wie wir bei Betrachtung der Raumerfüllung der Materie sehen werden —, der an ihm hängende Ätherwirbel aber über weite Strecken sich verbreiten kann, ehe er an einem positiven Elektron endet, so erscheinen die Elektronen im wesentlichen als Äthervorgänge, was dem von mir schon frühe gezogenen Schluß entspricht, daß die Kathodenstrahlen, welche reine negative Elektronen sind, Äthervorgänge seien. Man kann die Elektronen mit Recht auch als Teile des Äthers auffassen, in dem Sinne, daß sie eben die Enden von Ätherwirbelfäden sind.

Es würde dann das einzelne, freie Elektron notwendig eine Einseitigkeit besitzen, da dem von ihm ausgehenden Wirbelfaden eine bestimmte Richtung im Raume zukommt. Kathodenstrahlen geringer Dichte, wie die von mir lichtelektrisch erzeugten Strahlen oder auch die  $\beta$ -Strahlen gewisser radioaktiver Stoffe, wo die einzelnen Elementarquanten in ziemlich großen Abständen voneinander sich bewegen, könnten solche Einseitigkeit wirklich auffinden lassen.

Ein solcher, von einem (negativen) Elementarquant ausgehender Wirbelfaden des Äthers muß eine gewisse, von vornherein gegebene und durch unsre Willkür nicht veränderliche Intensität besitzen. Betrachten wir einen Lichtstrahl, so haben wir, da er ein elektrischer Wellenzug ist, in seinen Bergen und Tälern senkrecht (transversal) zum Strahl gerichtete Ätherwirbelfäden, die hier, von ursprünglich an Elektrizitäten hängenden Fäden abgeschnürt<sup>4)</sup>, in sich selbst geschlossene Ringe bilden;

<sup>4)</sup> Dieses Sichabschnüren der Kraftlinien ist von HERTZ aus den MAXWELL'schen Gleichungen untersucht und an einem Beispiel (dem des elektrischen Oszillators) zum erstenmal in ausgezeichneter Weise klargelegt worden.

je ein Ring in einer Wellenlänge. Wäre der Lichtstrahl durch die Erzitterung eines einzelnen Elektronenpaares entstanden, so würde in jeder seiner Wellenlängen nur ein einzelner solcher ringförmig geschlossener Wirbelfaden sein, und alle so entstehenden Lichtstrahlen wären in dieser Beziehung einander gleich. Es ist bemerkenswert, daß alles sichtbare Licht, das wir finden (nicht die Wellen HERTZ'scher Oszillatoren), in der Tat eine Zusammenhäufung solcher Wellen mit je nur einem Wirbelfaden sein muß, denn alles dieses Licht kommt von der Erzitterung der einzelnen elektrischen Elementarquanten, welche zu den Atomen der betreffenden, leuchtenden Körper gehören.<sup>5)</sup>

(Ponderomotorische Kräfte.) Es handelt sich nun noch um die wichtige Frage, ob die Wirbel und Strömungen im Äther, als welche wir uns die elektrischen bzw. magnetischen Kräfte nun in ihm sitzend vorstellen, auch wirklich solche Anziehungen und Abstoßungen hervorbringen, wie wir sie an Elektrizitäten und Magnetpolen beobachten. Die Frage nach Kraftwirkungen, ausgeübt von inneren Bewegungen eines inkompressibelen, mit Masse begabten Mediums ist nach den hydrodynamischen Gleichungen zu beantworten, wenn es auch meist eine besondere mathematische Leistung ist, diesen Gleichungen die Antworten abzugewinnen, welche sie enthalten. Die beiden BJERKNES haben wiederholt eingehende Untersuchungen in dieser Richtung angestellt und sie haben gezeigt, daß in der Tat Kräfte genau der verlangten Art, nach dem NEWTON-COULOMB'schen Gesetz wirkend, auftreten müssen. Man kann in bestimmten Fällen auch leicht experimentell das Vorhandensein solcher Kräfte zeigen, wobei Wasser als Medium funktionieren kann. Besonders gut ausführbar ist der Versuch, zwei pulsierende (periodisch sich vergrößernde und verkleinernde, aus Kautschukmembran herstellbare) Kugeln unter Wasser zu versenken und zu zeigen, daß diese beiden Kugeln alsdann in der Tat einander anziehen oder abstoßen, je nachdem sie in gleichem oder entgegengesetztem Takte pulsieren. Die Kugeln wirken nur durch die Bewegungen aufeinander, welche sie im Wasser hervorbringen (und zwar handelt es sich in diesem Falle um kurze hin- und hergehende Bewegungen, welche in Wasser leichter störungsfrei zu verwirklichen sind als dauernde Strömungen). Ein Ort, von welchem der

<sup>5)</sup> Dies könnte der Kern der Lichtquantenhypothese von M. PLANCK und A. EINSTEIN sein.

Äther auseinanderströmt, oder nach welchem hin er zusammenströmt, ist nach unserer Auffassung ein Magnetpol. Der Versuch stellt also die Anziehungen und Abstoßungen von Magnetpolen dar, und zwar hängen die Kräfte ganz in der richtigen Weise von Polstärke und Polabstand ab.

Hier haben wir also einen Mechanismus, der solche Kräfte NEWTON-COULOMB'scher Art hervorbringt. Denken wir nun, das Wasser und seine Bewegungen wären für uns direkt nicht merklich, wie es der Äther ist und wie es für Tiefseefische, die nie in einen Raum ohne Wasser kommen, wohl auch das Wasser ist, wir würden also nur die zwei Körper sehen, so würden uns ihre Kräfte als unvermittelte Fernkräfte erscheinen. Haben wir aber das Wasser und seine Bewegungen erkannt, so sehen wir, daß nicht der ferne zweite Körper, sondern das unmittelbar umgebende Wasser den beweglichen Körper bewegt. Dabei ist zu bemerken, daß bei den elektrischen und magnetischen Kräften schon deshalb gar kein Zweifel sein kann an dem Bestehen eines Zwischenmechanismus, weil diese Kräfte, wie eben HERTZ' Entdeckungen gezeigt haben, Zeit brauchen, um durch den Raum sich auszubreiten.

Nun haben wir aber noch eines nicht betrachtet: die Richtung der Kräfte in unserem Modelle. Bei den magnetischen (auch bei den elektrischen) Kräften ist es so, daß Gleiches sich abstößt, Ungleiches sich anzieht. Wie ist es hier? Die in gleichem Takte pulsierenden Kugeln ziehen sich an, die in ungleichem Takte pulsierenden stoßen sich aber ab; also verkehrt! Die Kräfte haben also zwar die richtige Größe, aber die verkehrte Richtung. Ist damit nicht die Brauchbarkeit unseres Bildes vernichtet? Ich glaube, wie BJERKNES, nein. Wir wissen nämlich noch äußerst wenig über die Verknüpfung zwischen Äther und Materie. Es könnte so sein, daß das, was die magnetische Kraft erfährt, gar nicht der sie tragende Körper ist, sondern nur der umgebende Äther, daß also der Äther es ist, welcher nach der einen Seite hin getrieben wird und daß die in ihm eingebetteten, materiellen Kraftzentren dann gerade nach der entgegengesetzten Seite hin ausweichen müssen. Wir kommen auf unsere geringe Kenntnis von der Wechselwirkung zwischen Äther und Materie noch zurück.

Was die elektrischen Kräfte anlangt, so würden diese bei unserer Auffassung der elektrischen Kraftlinien als gesonderten

Wirbelfäden unmittelbar mit zutreffender Richtung sich ergeben. Schon MAXWELL hat darauf hingewiesen, daß Wirbelfäden durch ihre eigenen zentrifugalen Kräfte das seitliche Drängen und damit beim unveränderlichen Volumen auch die Längsspannung aufweisen, welche beide den Kraftlinien eigen sind und welche, wie wir hervorhoben, alle elektrischen Kraftwirkungen richtig ergeben.

(Elektrodynamik.) Wir haben nun die elektrischen und die magnetischen Kräfte. Aber die Tatsachen, welchen unser Modell gerecht werden muß, gehen noch immer weiter. Wir kennen dank den Entdeckungen von FARADAY und HERTZ Verknüpfungen zwischen diesen beiden Kraftarten. Ein großes, inhaltreiches und wohl gegründetes System von Tatsachen ist es, auf welches ich hier nur anspielen muß, Tatsachen, auf welchen die heute großartigen Anwendungen der elektrischen Kräfte beruhen. Man nennt dies System von Tatsachen auch die Elektrodynamik. Wunderbar ist es, wie MAXWELL eben dieses reiche Feld quantitativer Kenntnis mathematisch in seine Gleichungen zu bannen wußte, so daß, richtig interpretiert, auch nichts darin fehlt, alles konzentriert ist und mathematisch nach beliebiger Richtung hin ausführlich quantitativ herausentwickelt werden kann, wenn man dabei auch selbstverständlich für spezielle Fälle die speziellen Eigenschaften des behandelten Körpersystems hinzunehmen muß. Begnügten wir uns mit den eingangs erwähnten Bildern erster Art, so haben wir sicherlich für die gesamten Erscheinungen des Elektromagnetismus, der Elektrodynamik, in MAXWELLS Gleichungen ein solches Bild in nach heutigem Umfang der Kenntnis ganz vollkommener Weise vor uns. Es kann gar nicht genug hervorgehoben werden, welche Wunder von Kenntnis-Konzentration solche Gleichungen sind. Sie enthalten stets unendlich viel mehr, als irgend jemand — auch der, welcher die Gleichungen aufgestellt hat — auf einmal sehen kann; sie enthalten aber nur Zutreffendes, wenn sie überhaupt richtig sind, und es ist bis in die allerneueste Zeit noch immer der Fall gewesen, daß aus diesen schon in den 1870er Jahren aufgestellten MAXWELL'schen Gleichungen noch neue Erscheinungen mathematisch herausgelesen worden sind, die man vorher nicht kannte, die aber dann als wirklich ganz so bestehend aufgefunden werden konnten, wie die Gleichungen es angaben, Erscheinungen, von welchen wir also, da wir die

Gleichungen besaßen, bereits Kenntnis in Händen hatten, nur daß wir nicht wußten, daß wir sie schon hatten.

Ich glaube, Sie werden sehen, daß, wenn wir nun mit diesem so vollkommenen Bild erster Art uns nicht begnügen und noch den Mechanismus, das Bild zweiter Art, dazu haben wollen, daß wir dann nichts Notwendigeres tun müssen, als zusehen, ob unser konstruiertes mechanisches Bild genau diesen Gleichungen entspricht oder nicht. Dies hat BJERKNES getan.

Die Einführung der Verknüpfung zwischen elektrischen und magnetischen Kräften, um die es sich handelt, also zwischen Strömungen und Wirbeln im Äther, impliziert die Einführung eines Zusammenhanges benachbarter Teile des Äthers in unserem Bilde. Der Zusammenhang muß nach MAXWELLS Gleichungen derart sein, daß erstens jedesmal die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit eines Ätherteiles sogleich die Nachbartheile affiziert und zwar so, daß ein Wirbelfaden rings um die Stelle der sich ändernden Geschwindigkeit auftritt, daß aber auch zweitens jedesmal die Änderung der Intensität eines Wirbelfadens sogleich eine Strömung des Äthers rings im Kreise um den sich ändernden Wirbelfaden zur Wirkung hat. Ursache und Wirkung müssen dabei in beiden Fällen so miteinander verknüpft sein, daß sie nicht nur unzertrennlich voneinander, sondern auch vertauschbar miteinander sind, so daß ein im Kreise herum geschlossener Wirbelfaden ohne die zugehörige, benachbarte Änderung von Strömungsgeschwindigkeit gar nicht vorhanden sein kann, und ebenso keine dauernde Strömung (die, wie alle Ätherströmung, nur kreisend sein kann) ohne die zugehörige, benachbarte Änderung eines Wirbelfadens.

(Reduzierter elektrodynamischer Zusammenhang.)

Es kann somit keine Strömung im Äther entstehen, ohne daß ein Wirbelfaden vorhanden ist. Wirbelfäden finden wir aber nach unserer Auffassung an den Elektrizitäten hängend, und zwar, wie wir annahmen, an jedem Elektron einen. Wenn nun sämtliche Wirbelfäden, die wir im Äther finden, zu den vorhandenen Elektrizitäten gehören, indem sie entweder, wie ursprünglich, von einem Elementarquantum zum entgegengesetzten sich erstrecken, oder aber abgeschnürte, in sich geschlossene Teile solcher ursprünglicher Fäden sind, so können an irgendeiner Stelle des Äthers Änderungen von elektrischer Kraft überhaupt in keiner anderen Weise zustande kommen als durch

Bewegungen bereits vorhandener Wirbelfäden, welche an der betrachteten Stelle vorbeiziehen, und auch Strömungen (magnetische Kraft) und deren Änderungen kommen nur durch Bewegungen der vorhandenen Wirbelfäden zustande. Es reduziert sich danach die gesamte Elektrodynamik auf die Bewegungen und die dabei stattfindenden Deformationen der ein für allemal mit den Elektrizitäten vorhandenen Wirbelfäden und der gesamte angegebene, den MAXWELL'schen Gleichungen entsprechende Zusammenhang reduziert sich in unserer Vorstellung darauf, daß ein sich fortbewegender Wirbelfaden stets eine zu seiner eigenen Richtung und zu seiner Fortbewegungsrichtung senkrecht gerichtete Ätherströmung mit sich tragen muß.<sup>6)</sup>

Ohne einen Zusammenhang der einzelnen Teile des Äthers, ohne gegenseitige Einwirkung derselben aufeinander, würde auch die Ausbreitung von Wellen im Äther — der Lichtwellen —, die Fortpflanzung einer an einer Stelle erfolgenden Erzitterung auf andere Stellen hin, gar nicht möglich sein; es ist aber eben genau derselbe soeben angegebene Zusammenhang, welcher auch hierfür genügt und in dessen Insspieltreten eben auch die Lichtausbreitung besteht. Die Transversalität der Lichtwellen resultiert aus diesem Zusammenhange von selber, und die gyrostatistische Beschaffenheit des Äthers, welche wir ursprünglich dieser Transversalität wegen eingeführt hatten, muß jetzt, allgemeiner, den Mechanismus jenes Zusammenhanges ergeben. Könnte der oben angegebene, reduzierte Zusammenhang ohne die gyrostatistische Struktur hergestellt werden, so wäre in unserer Auffassung kein Anlaß, den Äther auch dort als wirbelnd anzunehmen, wo nicht gerade einer der Wirbelfäden vorbeizieht.

(BJERKNES'sche Gleichungen.) BJERKNES benutzt das gyrostatistische Bild, untersucht die Bewegungsgleichungen eines solchen (im übrigen kontinuierlich gedachten) Mediums und findet,

<sup>6)</sup> Soll sich der Wirbelfaden weiter bewegen, so muß erst diese zugehörige Querströmung des Äthers in Gang kommen; dies verleiht dem Wirbelfaden die Eigenschaft der Trägheit. Ein Raum, in welchem solche Wirbelfäden vorhanden sind (z. B. ein von Lichtstrahlung erfüllter Hohlraum), wird daher eine besondere Trägheit, eine besondere Zusatzmasse, besitzen, die ihm fehlt, wenn die Wirbelfäden (die elektrischen Felder, z. B. die Strahlung) nicht in ihm vorhanden sind. Auch jedes einzelne Elektrizitätsquant muß wegen des mit ihm sich bewegenden Wirbelfadens solche Trägheit besitzen, welche nicht ihm selbst, sondern den umgebenden Äthermassen angehört. Da wir finden werden, daß jedes Atom der Materie ein von starken elektrischen Kraftfeldern erfüllter Raum ist, gilt auch für die gewöhnliche Trägheit der Materie dasselbe.

daß die Verknüpfungen zwischen Wirbeln und Strömungen in der Tat den Verknüpfungen zwischen magnetischen und elektrischen Kräften entsprechen, daß aber völlige Deckung dieses Mechanismus mit den MAXWELL'schen Gleichungen doch nicht statthat. Der Mechanismus entspricht einem um ein wenig veränderten Gleichungssystem. Es wird noch ein Glied in der Gleichung durch diesen KELVIN-MAXWELL-BJERKNES'schen Mechanismus hinzuverlangt. Beide können also nicht richtig sein, die Gleichungen und dieser Mechanismus. Welches von beiden ist das Unvollkommene, streng gesprochen, Falsche? Die Gleichungen sind gestützt durch ihre erwähnte, stets nur bestätigte Bewährtheit; der Mechanismus ist gestützt durch unser inneres Bedürfnis, daß es einen Mechanismus geben müsse, und dieser bestimmte Mechanismus dadurch, daß es bisher nicht gelang, einen anderen durchzuführen. An diese Diskrepanz zwischen Äthermechanismus und MAXWELL'schen Gleichungen, an der allgemeinen Erkenntnis, daß diese Gleichungen in ihrer gegenwärtig angenommenen Form ohne einen über sie hinausgehenden Zusatz überhaupt keinem Mechanismus entsprechen können, da sie nicht auf Gleichungen der Mechanik zurückführbar sind, — hieran knüpfen sich die in gegenwärtiger Zeit auftretenden Zweifel, welche wir eingangs in der Frage zum Ausdruck brachten: ob der Menschegeist darauf eingerichtet sei, die Natur als einen Mechanismus zu begreifen. Soll die Frage zu bejahen sein, so müssen wir über die MAXWELL'schen Gleichungen hinausgehen. Durch die erwähnten Arbeiten von BJERKNES wird ein Zusatz zu den Gleichungen in bestimmter Form gegeben; es erwächst daraus die Aufgabe, zuzusehen, ob das Zusatzglied der Wirklichkeit entspricht. Wir haben Versuche im physikalischen Institut im Gange, welche zu dieser Entscheidung beitragen sollen. Für jetzt ist nur soviel zu bemerken, daß das Glied nach der von uns benutzten Auffassung sich auf Erscheinungen bezieht, welche bei Übereinanderlagerung von starken magnetischen mit starken, aber inhomogenen elektrischen Feldern sich zeigen könnten und daß das Glied leicht sehr kleine Werte annehmen kann, wenn die Dichte des Äthers nicht eine gewisse Grenze überschreitet.<sup>7)</sup>

<sup>7)</sup> Ist die von uns in den Vordergrund gestellte Auffassung der elektrischen Kraftlinien als Wirbelfäden, welche den Äther nicht kontinuierlich erfüllen, richtig, so könnte es auch sein, daß das BJERKNES'sche Zusatzglied jederzeit den Wert Null hat.

Der Fall des Hinzutretens eines neuen Gliedes zu bereits bewährten Gleichungen ist übrigens durch MAXWELL selbst schon gegeben worden. Denn eines der Glieder seiner jetzt bewährten Gleichungen ist von ihm selbst ganz neu hinzugesetzt worden, ist über die damals bekannten Erscheinungen hinausgegangen, ist daher in seiner Berechtigung ziemlich lange Zeit Zweifeln unterworfen gewesen, hat sich dann aber eben in den Versuchen von HERTZ ganz in Übereinstimmung mit der Wirklichkeit befindlich gezeigt, und es waren auch dynamische Modelle, welche MAXWELL bei dieser so glücklichen Erweiterung der Gleichungen zum Ausgangspunkt gedient hatten.

Wir verlassen jetzt den Äther und wenden uns noch einmal zur Materie, um einige Resultate aus den letzten 15 Jahren über die Atome der Materie anzugeben, Resultate, welche heute schon einen wesentlichen Platz im Weltbilde des Naturforschers ausmachen und die wir auch im vorangehenden zum Teil schon berührt und benutzt haben.

Wir sind recht genau unterrichtet über die Größe der Atome, dieser Bausteine aller Materie, in deren Gruppierungsstudium die Chemie besteht. Nicht so sehr die Einzelgröße der verschiedenen Atomsorten ist es, die wir so gut kennen, als vielmehr die Durchschnittsgröße der Atome überhaupt. Alle die sehr vielen Wege dazu führten zum Resultat, daß sie rund mehrere Zehnmilliontel Millimeter groß sind. Innerhalb je einer Kugel von etwa diesem Durchmesser findet sich also alles, was zu dem betreffenden Atom speziell gehört. Sicherlich sehr kleine Räume sind das, welche einzelne Atome zu eigen haben und in welche andere Atome für gewöhnlich nicht eindringen. Dennoch hat man in diesen kleinen Atomräumen noch Einzelheiten zu unterscheiden vermocht, was man noch vor 17 Jahren kaum für möglich halten dürfen, weil man keinen Weg dazu sah. Aber jede Erscheinung, die wir nur finden und die absonderlich, unverstanden dasteht, kann Eingangstor zu den ungeahntesten Erkenntnissen werden. Als solche Erscheinungen bestanden schon damals ziemlich lange die elektrischen Entladungen in den PLÜCKER'schen oder GEISSLER'schen Röhren. Aus diesen Erscheinungen hat sich allmählich besonders ein Teil als vermutlich von relativ ein-

fachen Gesetzen beherrscht hervorgehoben, nämlich die merkwürdigen Strahlen, welche von der Kathode solcher Röhren ausgehen. Für den Naturforscher hat eine Erscheinung indessen erst dann ihren vollen Wert, wenn sie Anhalt zu quantitativer Untersuchung unter reinen Verhältnissen, frei von unkontrollierbaren Störungen bietet. Dies schien bei diesen Strahlen ganz möglich, falls sie nämlich wirklich eine besondere Art von Strahlen wären, die, einmal erzeugt, ihren eigenen Gesetzen folgten, wie z. B. das Licht, das wir in verschiedener und durchaus nicht immer leicht verständlicher Weise erzeugen können, das aber dann immer die gleichen und relativ einfachen Eigenschaften hat. Es kam darauf an, den ganzen rätselhaften Erzeugungsprozeß der Strahlen in der GEISSLER'schen Röhre — der sich in der Tat erst später, nach genauer Kenntnis der Strahlen, geklärt hat — zunächst beiseite zu setzen, und die Strahlen für sich allein zu untersuchen. Dies wurde zuerst und in sehr vollkommener Weise möglich, als man die Strahlen durch einen für sie durchlässigen Verschluß aus der Röhre, wo die Erzeugung stattfindet, austreten ließ. Die erste Frage war allerdings, ob die Strahlen überhaupt abgesondert existenzfähig sich zeigen werden, ob sie überhaupt heraustreten werden. Nachdem dies festgestellt war, konnte man frei von den Komplikationen des Erzeugungsprozesses beliebige Versuche mit den Strahlen anstellen und die Umstände der Beobachtung dabei ausgiebig variieren, ohne den Erzeugungsprozeß im mindesten zu stören. Es war u. a. leicht möglich, die Absorption der Strahlen in verschiedenen Körpern quantitativ zu untersuchen. Als Resultat ergab sich das Massenproportionalitäts-Gesetz der Kathodenstrahlenabsorption. Dies waren die ersten erfolgreich durchgeführten quantitativen Versuche mit solchen Strahlen. Sie haben offenbar allgemein die Überzeugung begründet, daß hier ein Objekt vorliegt, das exakter Untersuchung sowohl zugänglich ist, als auch solche lohnt, und von hier ab hat sich schnell eine große Zahl von Forschern dieser Untersuchung zugewandt. Die Ernte war noch außerordentlich viel reicher, als man sich hatte träumen lassen: Noch andere Strahlen wurden entdeckt — in der Medizin als Untersuchungsmittel heute schon unentbehrlich geworden —; die Radioaktivität und das Radium wurden entdeckt. Welche Wunder hat doch die Natur verborgen, zur Aufdeckung durch den Forscher, wenn er nur eifrig nach Wegen

dazu sucht! — Wir können von all dem hier nur noch soviel vorbringen, als sich auf die Konstitution der Atome bezieht; auch hierin hat das Studium der Kathodenstrahlen neue Kenntnisgebiete, neue Einsichten in verborgene Dinge eröffnet.

(Materie und Elektrizität.) Zuerst das Absorptionsgesetz selber. Was bedeutet es, daß die Absorption der Masse, also auch dem Gewicht des absorbierenden Körpers proportional ist? Unmittelbar ist die Bedeutung diese, daß alles, was gleich viel wiegt, auch gleiche Wirkung hat diesen Strahlen gegenüber, z. B. ein Sauerstoffatom dieselbe Wirkung wie 16 Wasserstoffatome. Der allereinfachste Schluß hieraus wäre aber der, daß ein Sauerstoffatom wirklich dasselbe sei wie 16 Wasserstoffatome, nur anders gruppiert; allgemein, daß alle Atomarten, alle Materie aus gleichen Grundbestandteilen aufgebaut sei. Es war das auch kein neuer Gedanke; die Proportionalität von Masse und Gewicht hat seit GALILÄI im selben Sinne gesprochen und die Alchymisten hatten den Gedanken sogar schon sehr gepflegt, aber eben mit deutlichem Mißerfolge; sie hatten aus Bleiatomen keine Goldatome machen können. Hier war der Gedanke nun plötzlich wieder nahe gerückt und zwar mit unmittelbarer Beziehung auf die Moleküle und Atome. Denn diesen Strahlen gegenüber verhalten sich alle materiellen Körper, auch Gase, wie trübe Medien. Die Moleküle des Gases trüben den Äther, in welchem sie suspendiert sind, wie in der Milch die Fettkügelchen das Wasser trüben. Entfernen wir das Gas aus dem Beobachtungsraume, so wird derselbe klar, die Strahlen verfolgen gerade Linien. Es wirken also die Moleküle der Materie einzeln als Hindernis für diese Strahlen (nicht erst in großen Anhäufungen, wie für Lichtstrahlen), indem sie dieselben von ihrem geraden Wege ablenken, und wir haben daher in diesen Strahlen ein Mittel, die Moleküle und Atome der Materie einzeln zu untersuchen. Eine entscheidende Bestätigung hat der Aufbau aller Atomarten aus demselben Grundstoff durch die bald erfolgte Auffindung des Radiums erhalten, eines wahren chemischen Elementes, das wirklich in zwei andere Elemente zerfällt, in Helium und Radiumemanation. Man kennt heute schon über ein Dutzend solcher Atomsorten, die in andere zerfallen. Die Alchymisten haben also recht behalten, nur daß die Umwandlung der Atome nur bei ganz bestimmten, nämlich den ganz großen und schweren Atomen erfolgt und bei diesen ganz

von selber, ohne daß wir bisher einen Einfluß auf Stattfinden oder Nichtstattfinden dieser Vorgänge auszuüben vermöchten.

Was ist nun aber der Grundstoff, aus welchem alle Atome aufgebaut sind und von welchem sie nur verschieden große Mengen darstellen? Um hierauf Antwort zu erhalten, mußte man erst näheres über die Kathodenstrahlen selbst wissen. Es zeigte sich, daß sie geschleuderte, negative Elektrizität sind. Elektrizität selbst, frei von Materie. Elektrizität, welche man damals eben schon fast nur mehr als einen theoretischen Hilfsbegriff aufzufassen sich gewöhnte, weil man, wie schon FARADAY, immer vergeblich nach ihr gesucht hatte; man hatte nur elektrische Körper gefunden, aber niemals Elektrizität selber. Diese Strahlen haben uns von der Realität der Elektrizität überzeugt, und zwar ist es die negative Elektrizität, welche wir in diesen Strahlen frei von Materie haben. Niemals ist es gelungen, was seither viel gesucht wurde, auch die positive Elektrizität frei von Materie zu erhalten.<sup>8)</sup>

Die Bewegung der Elektrizität in diesen Strahlen erfolgt mit etwa  $\frac{1}{3}$  Lichtgeschwindigkeit. Die Elektrizität selbst ist in ihnen ganz ebenso in Elementarquanten oder Elektronen abgeteilt enthalten, wie dies auch sonst von Erscheinungen der Elektrolyse her schon angenommen wurde. Diese geschleuderten Elektrizitätsquanten der Strahlen durchfliegen die Atome des Gases, auf welche sie treffen, so wie sie auch die Aluminiumatome des Verschlusses der Erzeugungsröhre durchfliegen. Sie durchqueren die kleinen, den Atomen zugehörigen Räume. Durch eine einfache Rechnung kann man sich überzeugen, daß sie nicht etwa nur die Zwischenräume der Atome bei ihrem Wege durch die Materie benutzen. Wenn nun ein solches Elektrizitätsquantum ein Atom durchquert, so wird es, wenn es nicht im Atom festgehalten wird (Absorption), von der geraden Bahn abgelenkt und kommt also in veränderter Richtung aus dem Atom wieder heraus, worin die erwähnte Trübung der Materie diesen Strahlen gegenüber besteht. Die Krummlinigkeit der Bahn bei der Durchquerung der Atome zeigt, daß elektromagnetische Felder im Innern der Atome vorhanden sein müssen und zwar außerordentlich starke. Denn

<sup>8)</sup> Das Suchen wird nicht aufgegeben werden; der gegenwärtige Anschein verspricht aber keinen Erfolg mit bekannten Mitteln, wenn man nicht etwa dazu kommt einzusehen, daß das Wasserstoffatom, wenn es ein negatives Quant verloren hat, bereits gleich einem einzelnen positiven Quant sei.

nur durch elektrische und magnetische Kräfte werden die Kathodenstrahlen beeinflußt. Wir müssen also auch Elektrizitäten in den Atomen haben als Zentren der elektrischen Felder, welche wir im Innern finden, und da die Atome im gewöhnlichen Zustand unelektrisch sind, muß gleichviel positive und negative Elektrizität in jedem Atom sein. Wir können also jedes negative Elektrizitätsquantum mit gleichviel positiver Elektrizität im Atom uns gruppiert denken, zwischen beiden der Wirbelfaden, das Kraftfeld, welches uns die Strahlen nachgewiesen haben. Ein solches als Grundbestandteil der Kraftfelder der Atome auftretendes Feld habe ich auch eine Dynamide genannt. Jede solche Dynamide erscheint nach der von uns vorher entwickelten Auffassung als ein einzelner, kurzer Ätherwirbelfaden, der Anfang und Ende in ein und demselben Atome hat. Wir können also sagen, die Atome bestehen aus Dynamiden, und dann fassen wir ihre Kraftfelder ins Auge. Wir können aber auch sagen: die Atome sind zusammengesetzt aus positiver und negativer Elektrizität und dann fassen wir die Zentren dieser Felder, die Enden der Dynamidenfäden ins Auge.

Aus der Untersuchung der Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit konnte ein Schluß gezogen werden auf die Raumerfüllung dieser Zentren der Dynamidenfelder, soweit sie undurchdringlich sind für negative Elektrizität. Das Resultat war, daß dieser undurchdringliche Raum in den Atomen außerordentlich gering ist. In einem Kubikmeter großen Block irgendwelcher, auch der massivsten Materie, z. B. Platin, findet sich im ganzen weniger als ein Kubikmillimeter solcher undurchdringlicher Raum. Dagegen ist bei einem festen Körper der ganze Block erfüllt von Kraftfeldern, die zu den Elektrizitäten der Atome gehören.

Betrachten wir ein einzelnes Atom, so ist der ihm zugehörige Raum ebenfalls in der Hauptsache von elektromagnetischen Kraftfeldern erfüllt. Die Durchmesser dieser die Kathodenstrahlen ablenkenden Räume können mit langsamen Strahlen ausgemessen werden; sie finden sich in der Tat, wie es dem Atomdurchmesser entspricht, von der Größe einiger Zehnmilliontel Millimeter. Die Kraftfelder im Innern des Atomraums sind von ganz außerordentlicher Stärke; nach außen hin, an der Grenze des Atomraums, nehmen sie an Stärke schnell ab, bis zur Unmerklichkeit. Elektromagnetische Kraftfelder sind in unserem Bilde bewegter Äther;

diesen finden wir also so gut wie den ganzen Atomraum erfüllend. Da erscheint die leichte Durchdringlichkeit von Materie und Äther, die uns anfangs fast eine Schwierigkeit bildete, nun als beinahe selbstverständlich.

Die an den Grenzen des Atomraums befindlichen Kraftfelder sind es, durch welche ein Atom auf ein anderes, genügend nahe befindliches wirken kann. Dies sind die Kräfte, welche die Atome im Molekül zusammenhalten und welche man sich gewöhnt hat, chemische Kräfte der Atome zu nennen. Vorher unverstandene Eigentümlichkeiten dieser chemischen Kräfte, so der variable Charakter der Valenzen, die Haupt- und Nebervalenzen der Atome und die außer diesen Valenzen noch übrigbleibenden Anlagerungskräfte lassen sich hierdurch verstehen und werden ohne Zweifel immer nur noch besser verständlich werden, indem man darauf eingeht, daß die chemischen Kräfte elektrische Kräfte sind, welche (als Ätherwirbelfäden) den einzelnen elektrischen Quanten des Atoms angehören. Gewisse dieser Quanten (die Valenzquanten) sind mit ihren Wirbelfäden besonders gut, andere weniger gut situiert zur Wirkung nach außen auf andere Atome. Es sind dies Verhältnisse, welche am besten merklich werden, wenn wir vereinzelte Atome fest in anderes Material eingebettet untersuchen, wie bei den Phosphoren, worauf wir zurückkommen. Auch die Molekularkräfte, die Kräfte der Festigkeit, welche z. B. das Eisen zusammenhalten, erscheinen nun als elektrische Kräfte. Es wird so z. B. auch die lange rätselhafte, aus den Erscheinungen der Kristallisation hervorgehende Tatsache verständlich, daß die Moleküle nicht nur anziehende, sondern auch drehende Kräfte aufeinander ausüben.

Wir haben nun das Bild der Atome so vollständig entwickelt, als es heute ist. Sämtliche Atome bestehen also aus den beiden Elektrizitäten. Das Wasserstoffatom, das leichteste, enthält die geringste Menge von positiver und negativer Elektrizität, das 200 mal so schwere Quecksilberatom enthält 200 mal soviel davon.

Allmählich beginnt man einzelnen der elektrischen Quanten oder Elektronen in gegebenen Atomen bestimmte Funktionen zuzuweisen — ein erster Orientierungsversuch im inneren Bau der Atome —, man unterscheidet z. B. Emissionselektronen (deren Erzitterungen die Spektrallinienemission des betreffenden Elementes ergeben), lichtelektrische Elektronen und die bereits erwähnten Valenzquanten. Einzelne, bestimmte Quanten der

Atome sind abtrennbar von denselben. Gerade die Metallatome zeichnen sich dadurch aus, daß sich sehr leicht negative Quanten von ihnen abtrennen; es sind dies gerade ihre Valenzquanten, welche die chemischen Kräfte dieser Metallatome (soweit sie nach festen Valenzen wirken) ergeben. Aus der leichten Abtrennbarkeit negativer Quanten von den Metallatomen erklärt sich aber nicht nur der chemische, „elektropositive“, sondern auch der gesamte physikalische Charakter der Metalle, z. B. ihr gutes elektrisches und Wärmeleitungsvermögen. Eben solche, von Metallatomen (von dem Aluminiumatom der Kathode in der Entladungsröhre) abgetrennte negative Quanten sind es auch, die wir, in schnelle Fortbewegung versetzt, als Kathodenstrahlen studierten.

Niemals aber sah man positive Elektrizität von Atomen sich abtrennen. Vergeblich hat man nach Strahlen gesucht, welche den Kathodenstrahlen analog wären, aber aus geschleuderter positiver Elektrizität beständen; man hat dabei nur geschleuderte Atome gefunden (Kanalstrahlen,  $\alpha$ -Strahlen der radioaktiven Elemente, Anodenstrahlen). Es zeigt sich hierin ein tiefgreifender Unterschied zwischen den beiden Elektrizitäten, die uns sonst als so genau entgegengesetzt gleich erscheinen. Da negative und positive Elektrizität an den Enden je eines Ätherwirbelfadens sich finden, ergeben sich so für jeden Ätherwirbelfaden notwendigerweise zwei verschieden beschaffene Enden.

Nachdem wir nun gezeigt haben, daß unser Bild von den Atomen aufs beste zu allem Bekannten stimmt und auch daß es außerdem eine Fülle von Anhalt zu weiterer Forschung bietet, müssen wir jetzt noch mit einem Wort auch auf die Schwierigkeiten eingehen, welche dem Bilde noch anhaften und welche sich hauptsächlich auf die Verknüpfung von Materie und Äther, das ist also Elektrizität und Äther beziehen. Die Schwierigkeiten erscheinen groß, aber es ist dies, glaube ich, doch nur deshalb der Fall, weil noch große unbekannte Dinge hier zu suchen sind, die, wenn gefunden, unser Bild von der Materie und dem Äther nur verbessern und vereinfachen, nicht zerstören werden.

(Konstitution der Atome.) Eine Schwierigkeit besteht darin, daß wir in gänzlicher Unkenntnis über die positive Elektrizität sind, da wir dieselbe, wie erwähnt, nie für sich allein, abgetrennt von der Materie, abgetrennt von negativer

Elektrizität, untersuchen konnten. Wir können daher auch noch nichts Begründetes über die räumliche Anordnung der Elektrizitäten im Atom angeben. Sicher ist aus der Tatsache der Emission und der Absorption des Lichtes durch Atome, daß die Elektrizitäten in denselben mindestens zu einem Teil beweglich sein müssen. Bei der Emission des Lichtes handelt es sich um Bewegungsabgabe aus dem Atome an den umgebenden Äther; bei der Absorption findet das Umgekehrte statt. Ich habe gesucht, dem Mechanismus dieses Energieaustausches zwischen Atom und Umgebung in einigen Fällen näherzukommen. Dabei hat sich — im Falle der Phosphoreszenz — die eigentümliche Tatsache ergeben, daß dieser Mechanismus für gewisse Fälle (für die Erregung der Phosphore durch Licht) weit außerhalb des Atoms sich zu erstrecken scheint, für andere Fälle (für die Lichtemission der Phosphore) aber mehr auf das Innere des Atomes beschränkt ist. Dies kann in dem hier entwickelten Bilde von der elektrischen Kraft so gedeutet werden, daß die Elektronen des Atoms, deren Bewegungen den ersten Fall ergeben (die lichtelektrischen Elektronen), die von ihnen ausgehenden Ätherwirbelfäden nach außen gerichtet haben, während es sich im anderen Falle um Elektronen handelt (die Emissionselektronen), deren Wirbelfäden mehr nach dem Innern des Atoms gerichtet sind.

Soll ein Atom Licht emittieren, also Energie nach außen abgeben, so muß es, da es sonst erschöpft würde, dazu Energie auf anderem Wege von außen her aufgenommen haben; die Lichtemission bedarf also einer besonderen Erregung. Es zeigte sich, daß diese Erregung mit der früher erwähnten Abgabe und Wiederaufnahme negativer Elektrizitätsquanten aus dem Atom zusammenhängt, woraus auch verständlich wird, daß es besonders die Metallatome sind, welche, z. B. in Flammen, leicht zum Leuchten, zur Emission ihrer bekannten Spektrallinien kommen.

Solcher Energieaustausch mit dem äußeren Äther scheint nur durch einzelne bestimmte Elektronen jedes Atoms stattzufinden (Emissionselektronen, lichtelektrische Elektronen, Valenzelektronen); im allgemeinen, bei den übrigen Elektronen des Atoms, fehlt sogar jeder Austausch, worauf eben die Haltbarkeit und Unangreifbarkeit der gewöhnlichen Atome beruht. Es ist z. B. bei der geringen Raumerfüllung der Elektronen im Atom nicht anzunehmen, daß sie in Ruhe sind, sondern daß sie in dem

vorhandenen freien Atomraum in geschlossenen Bahnen sich bewegen. Ja im Falle der Eisenmoleküle eines Magnetstabes ist es sogar unzweifelhaft, daß die Elektrizität in denselben in heftiger kreisender Bewegung sein muß. Es sind dies Bewegungen, die fortdauernd unverändert im Atom weiter bestehen bleiben, ohne sich zu erschöpfen; es fehlt jeder Energieaustausch dieser inneren Atombewegungen mit der Außenwelt. Hierin liegt eine Schwierigkeit, denn man weiß, daß schwingende oder kreisende Elektrizität Wellen im Äther erregt und dadurch sich erschöpft. Ich glaube indessen, daß auch diese Schwierigkeit durch unsere Annahme von nur einem Wirbelfaden an jedem Elektron verschwindet. Man braucht nur anzunehmen, daß die Wirbelfäden der betreffenden Elektronen nicht sehr gekrümmt im Atom verlaufen, auf kurzem Weg von einer Elektrizität zur andern; die Wirbelfäden erleiden dann bei den Bewegungen der Elektronen keine Abschnürungen, d. h. es erfolgt kein Energieverlust durch Ausstrahlung.

(Relativität der Bewegung.) Auf die Verknüpfung zwischen Elektrizität und Äther dürfen auch diejenigen Tatsachen bezogen werden, welche man heute unter dem Namen des Relativitätsprinzipes zusammenfaßt. Das Prinzip sagt aus, daß wir niemals absolute Bewegung im Raum, sondern nur relative Bewegungen der Körper gegeneinander wahrnehmen können. Die Bewegungen, die wir z. B. einen Körper im Zimmer ausführen sehen, sind relative Bewegungen in bezug auf das ruhend gedachte Zimmer. In Wirklichkeit bewegt sich aber das Zimmer mit der Erde durch den Raum, so daß die von uns beobachtete Relativbewegung des Körpers im Zimmer nur ein Teil der vorhandenen Gesamtbewegung dieses Körpers ist. Solche verschiedenen, gleichzeitig an demselben Körper vorhandenen Bewegungen stören sich aber gegenseitig nicht, so daß jede einzelne dieser Bewegungen genau so vor sich geht, als wären die andern gar nicht vorhanden. So geht z. B. im gleichförmig geradlinig bewegten Eisenbahnzug alle Bewegung (z. B. die eines geworfenen Körpers) genau so vor sich, als ruhte der Zug. Diese Erkenntnis von der gegenseitigen Nichtstörung verschiedener, sich übereinanderlagernder Bewegungen ist sehr alt; bereits GALILAI besaß sie und sie bildet den Erfahrungsinhalt des bekannten Parallelogrammsatzes von der Zusammensetzung der Bewegungen. Eben durch diese gegenseitige Nichtstörung gleichzeitig vor-

handener, verschiedener Bewegungen eines und desselben Körpers kam es, daß die ganze Mechanik, Statik und Dynamik, durch bloßes Studium der beobachtbaren relativen Bewegungen vollkommen sich entwickeln konnte, indem das etwaige, gleichzeitige Vorhandensein unbekannter Bewegungskomponenten an dem Verhalten der beobachtbaren Bewegungen nichts ändert. Umgekehrt aber können dann auch unbekannte Bewegungskomponenten aus den beobachtbaren Bewegungen nicht abgeleitet werden, und so scheint es, daß wir in der Tat kein Mittel haben, über absolute Bewegung oder Ruhe im Raume zu entscheiden.

Dies ist auch jedenfalls richtig, solange wir nur die Bewegung der Materie ins Auge fassen. Bedenken wir aber, daß alle Materie in dem Äther eingebettet ist und durch diesen sich hindurch bewegt, so ist doch die Frage berechtigt, ob wir nicht Bewegung der Materie relativ zum ruhend gedachten Gesamtvolumen des Äthers, also doch Absolutbewegungen der Materie im Raume aufdecken könnten. Daß der Äther auf gleichförmige Bewegung von Materie (Elektrizität) in ihm gar keinen weiteren Einfluß ausübt, als daß nur die Bewegung erhalten bleibt (Trägheitsgesetz), haben wir schon anfangs hervorgehoben. Es können also zur Aufdeckung von Absolutbewegungen nur innere Bewegungen des Äthers selbst in Betracht kommen, das sind optische oder, allgemeiner, elektrische Erscheinungen. Es sind mehrere Versuche dieser Art ausgeführt worden. Der berühmteste, weil einfachst gedachte und sorgfältigst durchgeführte ist der von MICHELSON. Der Versuch hat die Absicht, die Bewegungen der Erdkugel durch den Äther durch optische Versuche nachzuweisen. Wir sagten schon, daß die Erde durch den Äther hindurch sich bewegt, ohne ihn mitzuführen. Wir können zur Vereinfachung uns ebensogut vorstellen, daß die Erde ruhe und der Äther durch unseren Versuchsraum bläst. Nehmen wir zum Vergleich Luft statt Äther, und Schall statt Licht. Wenn der Wind in der Richtung der Schallausbreitung bläst, so trägt er die Schallwellen mit sich fort und sie laufen daher schneller, als wenn die Luft ruhte oder wenn sie etwa quer zur Schallausbreitungsrichtung bläst. Bei MICHELSONS Versuch handelte es sich um die Aufdeckung solcher kleiner Zeitunterschiede bei Lichtstrahlen, je nachdem dieselben gegebene Wege einmal in Richtung der Erdbewegung und das andere Mal senkrecht dazu zurücklegen. Zur Aufdeckung solcher Zeitunterschiede sind die

optischen Interferenzerscheinungen sehr geeignet. MICHELSONS Versuch war also ein Interferenzversuch mit zwei Lichtstrahlen, von denen der eine parallel, der andere senkrecht zur Richtung der Erdbewegung lag. Das Resultat des Versuchs war vollkommen negativ. Es fand sich kein Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtzeiten. Da nun das Vorhandensein der Erdbewegung unzweifelhaft ist, war dieser negative Ausfall ein sehr empfindlicher Widerspruch. Er zeigte, daß noch ganz wesentliche unbekanntere Dinge vor sich gehen müssen, wenn Materie mit einiger Geschwindigkeit durch den Äther sich bewegt. Das Relativitätsprinzip zieht aus diesen und ähnlich verlaufenen Versuchen nur die trockene Lehre, daß es eben auch, wenn wir uns auf den Äther zu stützen versuchen, unmöglich sei, absolute Bewegung aufzudecken, und daß wir unsere Raum- und Zeitbegriffe nach dieser Unmöglichkeit einrichten müßten. Doch konnte man auch ohne dies den verborgenen Dingen, welche hier liegen, weiter nachgehen, und es ergab sich eine Vermutung, welche indessen schon immer nur mehr Halt gewonnen hat, wie es zugegangen sei, daß jener Versuch ohne Resultat blieb. Die Vermutung ist diese, daß vielleicht die feste Grundplatte des Apparates durch ihre bloße Bewegung im Äther eine Verzerrung erlitten hat von solcher Größe, daß die gesuchte und auch wirklich vorhanden gewesene Wirkung dadurch gerade genau aufgehoben und also unmerklich gemacht wurde. Die Verzerrung müßte aber dann jeden festen Körper unter gleichen Umständen treffen; sie müßte darin bestehen, daß jeder durch den Äther bewegte Körper sich in der Richtung der Fortbewegung ein wenig kontrahiert, so daß aus einer Kugel bei ihrer Fortbewegung durch den Äther ein flaches Ellipsoid wird mit der kurzen Achse in der Bewegungsrichtung. Da das Volumen der festen Körper, wie wir sahen, von Kraftfeldern erfüllt ist, müssen diese Deformationen in Änderungen der Kraftfelder bestehen, welche bei deren Fortbewegung eintreten. Solche Änderungen, und zwar im verlangten Sinne wirkend, entsprechen aber den in den MAXWELL'schen Gleichungen zusammengefaßten Tatsachen der Elektrodynamik, wie besonders H. A. LORENTZ gezeigt hat, so daß der Widerspruch in der Tat beseitigt erscheint.

Wenn man demnach kaum mehr zweifeln darf, daß die festen Körper durch ihre Bewegung relativ zum Äther, also durch ihre absolute Bewegung, solche Deformationen erleiden, so

können diese Deformationen doch kein Mittel bilden, die absolute Bewegung nachzuweisen, denn sie treffen auch alle Vergleichskörper, Maßstäbe, die wir an den zu untersuchenden Körper anlegen könnten, so daß das Messungsergebnis nur negativ ausfallen müßte.

(Lichtgeschwindigkeit als innere Geschwindigkeit des Äthers.) Es ist aber noch ein anderer Weg vorhanden, zur absoluten Bewegung zu kommen. Betrachten wir, was das Einfachste und zugleich das Fundamentalste ist, die Bewegung eines der Grundbestandteile der Atome, eines einzelnen Elektrons. Wir haben solche bewegte, negative Elektronen in den Kathodenstrahlen. Lassen wir einen solchen Strahl durch ein passend gerichtetes elektrisches Kraftfeld gehen, so wird die schon vorhandene Geschwindigkeit seiner Elektronen noch gesteigert. Es ist aber eine Frage, wie weit die Geschwindigkeitssteigerung sich schließlich treiben läßt; ob nicht eine Grenzgeschwindigkeit eintritt, über die hinaus man niemals kommt. Eine solche Grenzgeschwindigkeit ist in der Tat zu erwarten, wenn, wie wir annehmen, die beschleunigende Kraftwirkung des elektrischen Feldes nur durch diejenigen inneren Bewegungen des umgebenden Äthers auf das Elektron ausgeübt wird, welche eben das elektrische Feld ausmachen. Es kann dann nie zu größeren Geschwindigkeiten der Elektronen kommen, als die der inneren Bewegungen des Äthers selbst sind, ganz ebenso wie z. B. ein vom Winde getriebener Luftballon dadurch niemals eine größere Geschwindigkeit annehmen kann als die des Windes selbst. Meine in dieser Beziehung und von diesem Gesichtspunkte aus zuerst angestellten Versuche an Kathodenstrahlen ließen den erwarteten Mangel an Geschwindigkeitszuwachs noch nicht erkennen. Doch ist man seither schon zu positiven Resultaten gelangt, indem man die schon von vornherein viel schnelleren Kathodenstrahlen ( $\beta$ -Strahlen) des Radiums anwandte, und es liegen heute schon mehrere durchgeführte Untersuchungen vor über die Größe des Zurückbleibens der Beschleunigung bei diesen sehr großen Geschwindigkeiten. Es sind das Geschwindigkeiten, welche der Lichtgeschwindigkeit schon sehr nahe kommen und die letztere selbst erscheint als die nicht überschreitbare, äußerste Geschwindigkeit, welche elektrische Elementarquanten im Äther annehmen können. Bei solcher Fortbewegung von Elektrizität mit Lichtgeschwindigkeit stellen sich, wie HEAVISIDE aus den MAX-

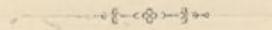
WELL'schen Gleichungen gezeigt hat, die elektrischen Kraftlinien, unsere Wirbelfäden, senkrecht zur Bewegungsrichtung ein. Da nun in den Lichtwellen und allen anderen Ätherwellen, welche ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit laufen, diese Wirbelfäden ebenfalls senkrecht zur Fortbewegungsrichtung gestellt sind, haben wir als allgemeine Eigenschaft der Ätherwirbelfäden zu konstatieren, daß sie, sobald sie nicht durch ihre Enden, die Elektrizitäten, festgehalten sind, stets mit Lichtgeschwindigkeit quer zu ihrer eigenen Richtung sich fortbewegen, wobei sie, wie wir früher sahen, immer eine zu beiden genannten Richtungen senkrecht stehende Ätherströmung mit sich tragen.<sup>9)</sup> Die stets im Äther vorhandenen inneren Bewegungen, welche diese Fortbewegung der Wirbelfäden veranlassen, müssen daher ebenfalls Lichtgeschwindigkeit haben. Es entspricht dies der Vorstellung, daß die Wellenausbreitung im Äther, wie in jedem mit Masse und innerer Beweglichkeit begabten Medium, eine von Teil zu Teil des Mediums erfolgende Übertragung einer Zusatzbewegung ist, welche über die stets vorhandenen inneren Bewegungen gelagert ist und durch die letzteren selbst von einer Stelle zur anderen gelangt. Ganz ebenso erfolgt auch die Ausbreitung der Schallwellen in der Luft, und die Geschwindigkeit dieser Ausbreitung ist hier ebenfalls gleich oder doch nahe gleich der ständig vorhandenen Geschwindigkeit der inneren Teile der Luft, nämlich der Molekulargeschwindigkeit.

Überblicken wir nochmals unser Bild der materiellen Welt — vom Äther und der Materie, oder, wie wir zum Schlusse sagen können, vom Äther und der Elektrizität —, so müssen wir besonders die gewaltigen Energieanhäufungen noch hervorheben, die in jedem Atom der Materie vermöge seiner starken elektrischen Felder und vermöge der Bewegungen der Zentren dieser Felder vorhanden sind, sowie die noch außerordentlich viel größeren Energieanhäufungen, die in den allen Raum füllenden, mit so ungeheuren Geschwindigkeiten sich bewegenden Massen des Äthers sich befinden. Es sind

<sup>9)</sup> Zwischen Lichtstrahlen und Kathodenstrahlen von Lichtgeschwindigkeit besteht danach nur der Unterschied, daß in ersteren die Wirbelfäden zu Ringen geschlossen sind und also Elektrizität nicht mit sich führen, während sie bei den letzteren geradlinig sind und samt ihren beweglichen Enden, den negativen Elementarquanten, fortschreiten.

dies alles Energieanhäufungen, die uns für gewöhnlich unbemerkt bleiben, da sie sich nicht umsetzen, so daß sie auch der Verwertung nicht zugänglich sind. Ein Beispiel für Freiwerden von Energie aus Atomen — oder vielleicht aus dem Äther — bilden die außerordentlichen Wirkungen des Radiumatoms.

Ich glaube jetzt das Bild selbst, wie es mir am besten durchführbar erscheint, und auch seine Schwierigkeiten genügend entwickelt zu haben. Ich glaube nicht, daß die Schwierigkeiten uns abhalten können, das vorhandene Bild weiter zu entwickeln und zu pflegen, — denn dann würden wir auf jedes solche Bild und die mechanische Begreifbarkeit der Natur überhaupt verzichten. Ich glaube nicht, daß dies geschehen wird, auch dann nicht, wenn wir, um die Mechanik des Äthers klar zu haben, hinter dem Äther und seinen Teilen noch einen anderen Äther sollten einführen müssen.



C. F. Wintersche Buchdruckerei.