

Die neueren Vorstellungen über das Wesen der Elektrizität

Autor(en): **Gruner, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **94 (1911)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90194>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die neueren Vorstellungen über das Wesen der Elektrizität

von

Dr. P. GRUNER

Wohl kein Gebiet der ganzen Naturwissenschaft hat sich mit solch' ungeahnter Schnelligkeit entwickelt wie die Elektrizitätslehre, und es ist keine Uebertreibung, wenn behauptet wird, dass der auffallendste Kulturfortschritt, der innerhalb der letzten fünfzig Jahre zu verzeichnen ist, uns in der Fülle elektrotechnischer Errungenschaften entgegentritt.

Um so befremdender erscheint es, dass diese riesenhafte Entwicklung sich an ein Ding knüpft, dessen wahres Wesen uns noch zur heutigen Stunde so unbekannt und so rätselhaft erscheint, wie vor mehr denn hundert Jahren, als Galvani in den Zuckungen der Froschschenkel die ersten Wirkungen elektrischer Ströme feststellte. Und doch ist dies vielleicht nicht so verwunderlich; denn bei etwas genauerem Nachdenken müssen wir zugeben — und die moderne Physik stellt sich ganz allgemein auf diesen Standpunkt — dass die Frage nach dem Wesen der Elektrizität, wie überhaupt die Frage nach dem Wesen irgend eines Dinges, sei es einer Kraft oder einer Materie, einer Energie oder eines Atoms, eine sinnlose Frage ist.

Das Wesen der Dinge an sich bleibt unserem denkenden Verstand ewig verhüllt. Wir werden auch durch die vollkommenste Naturforschung nie den Schleier heben, der uns hindert, die Welt so anzuschauen, wie sie wirklich an und für sich ist. Wir kennen nur das Bild der Natur, wie es durch unsere Sinnesorgane in unserem Bewusstsein sich abspiegelt und wie es durch die Denkfähigkeiten unseres Verstandes zurecht gemodelt ist. Mit dem grossen Mathematiker *Poincaré* müssen wir sagen: « Wenn eine wissenschaftliche Theorie den Anspruch

erhebt, uns zu lehren, was die Wärme oder die Elektrizität oder das Leben sei, so ist sie von vorneherein verurteilt; alles, was sie uns geben kann, ist nur ein grobes Bild ».

Doch die Frage nach dem Wesen der Elektrizität kommt damit nicht zur Ruhe, und mit vollem Recht! Denn unter dieser falsch formulierten Frage steckt ein richtiger Gedanke, steckt ein Wunsch, der seine Erfüllung finden kann.

Im Grunde liegt uns realistischen Menschen des 20. Jahrhunderts wenig daran, die unlösbaren Welträtsel durch leeren Wortschwall scheinbar beantworten zu können. Dagegen das Bestreben, nicht das Wesen der Dinge, aber ihre Beziehungen, nicht das Wesen der Natur, aber die Wechselwirkungen der Naturerscheinungen erkennen zu lernen, dieses ist durchaus berechtigt, und die Naturforschung arbeitet unablässig daran, jenem Streben nachzukommen.

Hierin liegt auch der einzig mögliche Fortschritt der wahren Naturforschung und hierin arbeiten die experimentellen und theoretischen Methoden Hand in Hand.

Beobachtung und Experiment decken uns die wirklichen Beziehungen in der Natur auf, aber dieselben werden uns erst verständlich und sind erst dann verwendbar, wenn sie logisch richtig formuliert, wenn sie in Form einer mehr oder weniger abgerundeten Theorie, die sichere Schlussfolgerungen gestattet, vorliegen. Dass bei der Formulierung einer solchen Theorie Vorstellungen mitunterlaufen, die nur einen vergänglichen Wert haben, das ist unvermeidlich und darf der Theorie nicht zum Vorwurf gemacht werden. Das Gewand veraltet und wird weggeworfen, die richtigen Beziehungen bleiben bestehen.

Auch darüber sagt *Poincaré* treffende Worte: « Beim ersten Blick scheint es uns, dass die Theorien nur einen Tag dauern und dass sich Ruinen auf Ruinen häufen. Heute entstehen sie; morgen sind sie in der Mode; übermorgen sind sie klassisch; am nächsten Tage sind sie veraltet und dann werden sie vergessen. Wenn man aber genauer zusieht, so erkennt man, dass das, was so zerfällt, solche Theorien sind, die beanspruchen, uns zu lehren, was die Dinge *sind*. Aber es gibt etwas in ihnen, was fortbesteht. Wenn eine von ihnen uns eine wahre Bezie-

hung enthüllt hat, so ist diese Beziehung endgültig gewonnen, und man findet sie unter einer neuen Hülle in den anderen Theorien wieder, die in der Folge an ihrer Stelle herrschen werden.»

So veränderlich unsere theoretischen Vorstellungen in der Naturwissenschaft sein mögen, keine derselben ist vergeblich, jede zeigt uns einen neuen, realen Faden, durch den gewisse Naturerscheinungen mit andern verknüpft sind. Und wenn uns auch das Wesen dieses Fadens unerforschlich bleibt und noch viel mehr der Urheber und Lenker all' dieser Fäden einer streng objektiven Naturwissenschaft verborgen bleiben muss, so ist es doch der Mühe wert, Schritt für Schritt das Gespinnst dieser Fäden zu entwirren zu suchen.

In diesem Sinne soll hier von den modernen Vorstellungen über das Wesen der Elektrizität gesprochen werden. Nicht als ob dieses innerste Wesen uns jetzt enthüllt werden sollte! — Wir wollen uns nur Rechenschaft geben, welches die neueren Vorstellungen sind, die uns gestatten, die elektrischen Erscheinungen unter einander und mit anderen Naturerscheinungen in verständliche Wechselwirkung zu bringen.

Freilich ist die Fülle des Materials so erdrückend gross, dass es unmöglich ist, auch nur die wichtigsten Erscheinungen eingehend vorzuführen, und dass wir uns mit einer kleineren Auswahl vereinzelter Streiflichter begnügen müssen.

Jedes Zeitalter, auch in der Naturforschung, ist charakterisirt durch gewisse herrschende Gedankenreihen, die jede neu entdeckte Erscheinung in ihren Bann zu schlagen suchen, bis ihr der Raum zu eng wird und sie die unhaltbaren Fesseln sprengt.

Als die ersten genauen Messungen der Elektrostatik von *Coulomb* u. a. durchgeführt wurden, da war die Analogie mit dem damals obersten Naturgesetz, dem *Newton'schen* Gravitationsgesetz, so auffallend, dass ganz selbstverständlich die elektrischen Erscheinungen auf die Existenz elektrischer Mengen zurückgeführt wurden.

Diese *imponderablen Elektrizitätsmengen* wurden den mate-

riellen Massen entsprechend gedacht und übt, wie diese, momentane Fernwirkungen durch den ganzen, unendlichen Raum hindurch. Der schöne Bau der Elektrostatik mit der Potentialtheorie stellte diese Erscheinungen in ihren Wechselbeziehungen dar und lieferte so die ersten Versuche, bestimmte Vorstellungen über das «Wesen» der Elektrizität zu gewinnen.

Als aber durch die Versuche *Galvani's* und *Volta's* die Grundlage zum sog. Galvanismus aufgefunden ward, trat eine andere Analogie in den Vordergrund: die Analogie mit den Gesetzen der Hydrodynamik und der Wärmeleitung, die sich Punkt für Punkt bis in das Detail der einzelnen theoretischen Formeln verfolgen liess.

Die Begriffe des *elektrischen Stromes*, des ihm entgegentretenen Widerstandes, der Stromstärke, des Leitvermögens, des Spannungsgefälles, etc., sind uns noch jetzt so selbstverständlich, dass wir mit unserem geistigen Auge die gewaltigen Mengen elektrischer Fluida, die unter dem Gefälle vieler tausende von Volt in den zahlreichen Hochspannungsleitungen unseres Vaterlandes dahineilen, ohne weiteres gleichsam sehen können. Die ganze klassische Theorie der elektrischen Ströme beruht auf der Auffassung der Elektrizität als eines in jedem Leiter leichtbeweglichen Fluidums.

Die weitere Erforschung elektrischer Phänomene sollte neue Horizonte über die Wirkungen jenes strömenden Fluidums eröffnen.

Die Erscheinungen des *Elektromagnetismus* ergaben in der *Ampère'schen* Theorie der magnetischen Molekularströme ein neues Verständnis für den Magnetismus, der hinfort nicht mehr als selbständige Naturkraft angesehen wurde, sondern nur als spezielle Wirkung jener besonderen Molekularströme. Die *Wärmewirkungen* und *chemischen Wirkungen* galvanischer Ströme lehren uns, dass das ganze Gebiet der Elektrizitätslehre sich unter die grossen Prinzipien der Thermodynamik unterordnen lässt. Ging früher das Schwergewicht unserer Vorstellungen dahin, die Elektrizität als einen imponderablen Stoff anzusehen, so erkennen wir sie jetzt nur als eine der vielen Formen, in welche die Proteusgestalt der *Energie* sich verwandeln lässt.

Die grundlegenden Versuche *Faradays* über die *elektrische Induktion* boten einerseits Gelegenheit, die Gesetze der elektrischen Fernwirkung wesentlich zu erweitern und umfassende sogenannte Grundgesetze der Elektrizität, wie diejenigen von *W. Weber*, *Clausius*, *Helmholtz* u. a. aufzustellen, andererseits aber steckte in ihnen der Keim zu einer völlig neuen Auffassung der elektrischen Kraftwirkungen.

Bevor aber diese Auffassung zum Durchbruch kam, fand — gerade durch die praktische Anwendung jener *Faraday'schen* Entdeckung der Induktionsströme — der völlig ungeahnte Aufschwung der Elektrotechnik statt, die durch ihre gewaltigen Dynamo und ihre sich mehrenden elektrischen Kraftübertragungsanlagen unsere ganze Industrie auf neue Bahnen lenkte. Und wir wollen nicht unerwähnt lassen, dass gerade hier in Solothurn eine der ersten derartigen Anlagen, *Solothurn-Kriegstetten*, mit Erfolg gebaut wurde, und dass deren wissenschaftliche Unternehmung durch die Herren Prof. *H. F. Weber* in Zürich und *Ed. Hagenbach* in Basel für die weitere Entwicklung der Elektrotechnik von grösster Bedeutung geworden ist.

Doch kehren wir zurück zu den neuen Ideen, die von dem geistreichen *Faraday* aufgestellt wurden und langsam zu allgemeiner Anerkennung gelangten.

Heute sind uns die Begriffe der *elektrischen und magnetischen Kraftlinien und Kraftfelder* durchaus geläufig, und wir sind es längst gewöhnt, das wesentliche dieser elektromagnetischen Kräfte nicht in den stromdurchflossenen Drähten, sondern in den sie umgebenden Isolatoren, in der Luft, ja in dem Aether, zu suchen.

Wenn wir zwei elektrisch entgegengesetzt geladene Metallplatten einander gegenüberstellen, so wissen wir, dass im ganzen Raume ein elektrisches Kraftfeld entsteht, d. h. überall können anziehende oder abstossende Kräfte, die von jenen Platten ausgehen, nachgewiesen werden; diese Kräfte lassen sich nach bestimmten Linien, den Kraftlinien, von der positiv geladenen Platte zur negativ geladenen verfolgen, sie können mathematisch insog. Kraftröhren angeordnet gedacht werden, und gemäss dem ihnen innewohnenden Gesetze suchen sich diese

Röhren zusammenzuziehen, auf diese Weise die Anziehung der entgegengesetzt geladenen Platten vermittelnd.

Ueber die eigentliche Natur dieser Kraftlinien können wir uns die phantasievollsten Bilder machen. Nach *Faraday* ist jedes Molekül eines Isolators wie ein kleines Metallkörperchen zu betrachten, das aber seine elektrischen Ladungen nicht abgeben kann. Die influenzirende Wirkung einer geladenen Metallplatte macht sich dann von Molekül zu Molekül im Isolator geltend, eine Molekülschicht nach der anderen wird polarisirt, — in diesem Polarisationszustand soll das Wesen des elektrischen Kraftfeldes bestehen, und die entstehenden Ketten solcher polarisierter Moleküle bilden die elektrischen Kraftlinien. Nach *Maxwell* dagegen kann man in den nichtleitenden Dielectrica sich den alles durchdringenden Aether denken, der, wie ein feines, elastisches Medium elastische Drucke und Spannungen erleidet, oder der auch, wie eine inkompressible Flüssigkeit, von derartigen Drucken hin- und hergeschoben wird und dadurch die Erscheinungen des Kraftfeldes bedingt.

Die Bilder, die wir uns darüber machen, können nach Belieben wechseln, aber der grosse Gedanke, der in ihnen verhüllt ist, der von *Faraday* mühsam aufgedeckt, von *Maxwell* in kühner Weise mathematisch formuliert und von *Hertz* durch geniale Experimente bestätigt wurde, bleibt für alle Zeiten bestehen. Es ist die wichtige Tatsache, dass die elektrischen Kräfte, die von den Centren elektrischer Ladungen ausgehen, von den Metallen, den sog. Leitern, gehemmt werden, während sie durch die Dielectrica, durch die sog. isolierenden Substanzen, hindurchgehen, und *dass diese Kräfte sich nicht sprungweise ausbreiten*, sondern Schritt für Schritt durch den Raum sich fortpflanzen, nicht in einem einzigen Moment sondern mit einer ganz bestimmten, messbaren Geschwindigkeit.

Es ist uns allen gegenwärtig, wie *Hertz* im Jahre 1888 zum ersten Mal zeigte, dass die elektro-magnetischen Wirkungen, die von den Funken eines Induktoriums ausgingen, an metallischen Flächen gespiegelt wurden, und wie sich durch diese Reflexion ein System stehender, elektrischer Wellen ausbildete, deren Knoten und Bäuche an dem winzigen Funkenspiele

abgestimmter Resonatoren deutlich nachweisbar war. Und nicht ohne Stolz erinnern wir daran, dass in Genf von unseren schweizerischen Physikern *E. Sarasin* und *L. de la Rive* jene Erscheinung stehender elektrischer Wellen zum ersten Male in grossem Masstabe ausgeführt und exakten Messungen unterworfen werden konnte.

Als nun durch derartige Messungen für die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen der Wert von 300,000 km. per Sekunde gefunden wurde, und als *Hertz* in glanzvoller Weise nachwies, wie diese Wellen reflektiert, gebrochen, gebeugt und polarisiert werden konnten, da musste die *Maxwell'sche* Auffassung der elektrischen und optischen Erscheinungen jedem denkenden Kopfe als selbstverständlich erscheinen.

Eine bedeutsame Brücke zwischen zwei, früher einander fremd gegenüberstehenden Gebieten, zwischen *Optik und Elektrizität* war geschlagen. Ein neues Verständniss für die elektrischen Erscheinungen war gewonnen, indem erkannt wurde, dass die elektromagnetischen Kräfte sich genau nach denselben Gesetzen ausbreiten wie die Licht- und Wärmestrahlen. Aber die Elektrizität wurde dadurch nicht in das Gebiet der Optik hinüber gezogen, sondern umgekehrt, die glänzenden Erscheinungen der Optik bildeten nur noch einen Spezialfall der Elektrizitätslehre. Die immerhin noch ziemlich anschauliche Vorstellung der alten Undulationstheorie, wonach die Lichtstrahlen aus elastischen Schwingungen des Aethers, also aus räumlichen Bewegungszuständen bestehen sollten, wurde preisgegeben, um der eigentlich ganz unvorstellbaren Idee von periodischen, im Raume oscillirenden, elektromagnetischen Kräften Platz zu machen. Ein neuer Beweis, dass die fortschreitende Erkenntnis uns nicht immer ein klareres Bild des « Wesens » der Naturerscheinungen gibt, sondern nur, dass sie die Beziehungen derselben von einem einheitlichen Standpunkt aus zu verstehen sucht.

Die *drahtlose Telegraphie* war die notwendige praktische Konsequenz dieser neuen Auffassung. Eigentlich ist jeder Leuchtturm, der in finsterner Nacht in bestimmtem Tempo seine Lichtsignale nach allen Seiten aussendet, eine Sender-

station für drahtlose Telegraphie, und das menschliche Auge ist die darauf reagierende, allerdings nicht scharf abgestimmte, Empfängerstation. So sendet die Station des Eiffelturmes anstatt Lichtstrahlen elektrische Strahlen aus, aber mit bedeutend grösserer Wellenlänge und mit ganz erheblich mehr Energie als ein Leuchtturm. Diese Wellen eilen deshalb kaum geschwächt durch weitaus grössere Strecken hindurch und setzen sich über die vielen Hindernisse, wie Nebel, Wolken, Rauch, etc. einfach hinweg. So kann das elektrische Auge, der sog. Detektor, der auf die ausgehenden Wellen abgestimmt ist, noch in einigen Tausend Kilometer Entfernung dieselben aufnehmen und das Signal des elektrischen Leuchtturmes bemerklich machen.

So überraschend jedoch die theoretischen und praktischen Erfolge der *Maxwell-Hertz'schen* Auffassung sein mochten, sie liessen doch noch eine Reihe von Unklarheiten zurück, die nur durch die modernste Auffassung, durch die *Elektronentheorie*, die von H. A. *Lorentz* in *Leyden* begründet wurde, beseitigt werden sollten.

Geben wir uns kurz Rechenschaft, welches die Gedankengänge sind, die zu den Vorstellungen der Elektronentheorie geführt haben.

Bei der grossen Bedeutung, welche das Studium der Kraftfelder erlangt hatte, waren die Prozesse, die diese Kraftfelder erst erzeugen, beinahe vergessen worden. Der Begriff der Elektrizitätsmenge war stark in den Hintergrund getreten; die Erscheinungen elektrischer Ströme in den Metallen zeigten keinen vorstellbaren Zusammenhang mit den von ihnen ausgehenden Kraftwirkungen; endlich war es nicht recht klar, warum ein elektrisch neutraler Körper, wie Z. B. ein Auerstrumpf, durch blosses Erhitzen auf einmal Lichtstrahlen d. h. elektromagnetische Kraftwellen aussenden sollte. Gerade dieses letztere Problem, das Problem der *Mechanik des Leuchtens* musste zu der Vermutung führen, dass jedes Molekül eines glühenden Körpers im Prinzip eine Art kleine Senderstation drahtloser Telegraphie sein müsse, und als solche elektro-

magnetische Wellen von ganz bestimmter Wellenlänge, oder, optisch ausgedrückt, Strahlen bestimmter Farbe emittire.

Der denkbar einfachste Typus einer solchen Senderstation besteht aber aus einem sog. *electrischen Dipol*, d. h. aus einer Kombination eines positiv geladenen und eines negativ geladenen Teilchens, die in bestimmter Weise in sehr raschen Oszillationen sich gegeneinander bewegen. Jedes Molekül, auch wenn es elektrisch ganz neutral ist, müsste also solche, gegeneinander bewegliche, winzige Elektrizitätsmengen besitzen.

Auf das Vorhandensein solcher molekularen elektrischen Mengen war man aber schon anderweitig gestossen.

Die *Maxwell'sche* elektromagnetische Lichttheorie konnte in ihrer ursprünglichen Gestalt keinen Aufschluss geben über eine Reihe von optischen Erscheinungen in materiellen Körpern, so z. B. über die Dispersion, d. h. über die Tatsache, dass Lichtstrahlen verschiedener Farbe in durchsichtigen Körpern verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten erhalten, also eine spektrale Zerlegung erleiden. Ein theoretisches Verständniss dieser *Dispersion* wurde nur möglich, wenn man eine Wechselwirkung zwischen den Molekülen des durchsichtigen Körpers und den Lichtstrahlen annahm. Wie soll aber eine rein elektromagnetische Kraftwelle von den elektrisch ganz neutralen Molekülen beeinflusst werden? Es müssen offenbar in den Molekülen positive und negative Ladungen angenommen werden, die bis zu einem gewissen Grade gegeneinander beweglich sind, und die unter dem Einfluss des einfallenden Lichtes zu Schwingungen angeregt werden. Diese Schwingungen üben dann auf das Licht einen Einfluss aus und modifiziren seine Ausbreitung, so dass die Erscheinungen der Dispersion und auch der Absorption zu Stande kommen.

Aber noch auf ganz anderem Wege war die Existenz solcher molekularen elektrischen Mengen wahrscheinlich gemacht worden. Die *Faraday'schen* Gesetze der Elektrolyse hatten das gar nicht selbstverständliche Resultat ergeben, dass bei der chemischen Zersetzung durch den elektrischen Strom jedes Ion für jede seiner chemischen Wertigkeiten stets dieselbe, durchaus unveränderliche elektrische Ladung mit sich führe.

Mag man Wasserstoff, oder Kalium, oder Kupfer, oder Chlor, etc. abscheiden, mit jedem abgeschiedenen Atom wird pro Valenz immer ein und dieselbe Elektrizitätsmenge abgegeben, die man desshalb als *Valenzladung*, ja direkt als *Elementarladung* bezeichnet hat. Der galvanische Strom kommt in derartigen Lösungen gar nicht anders zu Stande als dadurch, dass Atom für Atom jene Ladung mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit mit sich schleppt.

Diese Ladung spielt also selber beinahe die Rolle eines besonderen chemischen Atomes, das sich mit anderen vergesellschaften kann. Wo ein Wasserstoffatom diese Ladung nicht hat, da ist es elektrisch indifferent, wo es mit ihm verbunden ist, da ist es zu einem elektropositiven Ion geworden. Schon *Helmholtz* hat es im Jahre 1881 ausgesprochen, dass es sich hier vielleicht um das *Uratom der Elektrizität* handle, um die letzten, unteilbaren Einheiten derselben, durch deren Kombination die Gesamtheit der elektrischen Erscheinungen erklärbar sein müsste. Und wenn wir erwähnen, dass *J. Stoney* im Jahre 1891 für diese Teilchen den Namen « Elektron » zum Vorschlag brachte, so verstehen wir, dass in diesen elektrolytischen Problemen wohl der Grundstein der neuen Elektronentheorie zu suchen ist.

Welches sind aber die Grundgedanken der Elektronentheorie?

Nach den Anschauungen von H.-A. Lorenz ist vom elektronentheoretischen Standpunkt aus die *Substanz*, aus der sich das Weltall aufbaut in drei wesentlich verschiedene Kategorien einzuteilen: die *Elektronen*, den *Aether*, die *materiellen Atome*.

Vorerst werden als Centren aller elektrischer Kraftwirkungen ganz bestimmte, getrennt existierende Teilchen mit einer gewissen trägen Masse und einer unveränderlichen, elektrischen Ladung angenommen. Diese Teilchen oder Korpuskeln werden als *Elektronen* bezeichnet und können ganz allgemein als positive und negative Elektronen unterschieden werden.

Ihre Verteilung innerhalb der gewöhnlichen, materiellen Körper bedingen die bekannten Erscheinungen elektrischer Ladung, ihre Bewegungen erzeugen die gesamten Phänomene

elektrischer Strömung, von ihnen allein gehen nach allen Richtungen elektromagnetische Kräfte aus, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, und die die ausserordentlich mannigfaltigen Wirkungen der elektromagnetischen Kraftfelder, inklusive Licht und Wärmestrahlung, darstellen.

Von diesen Elektronen scharf zu unterscheiden ist *der Träger dieser Kräfte*, die einmal vom Elektron ausgesandt in selbständiger Weise auf ewige Zeiten den unendlichem Raum durchfliegen, gerade wie ein Lichtstrahl Jahrtausende hindurch den Raum durchzittert, auch wenn der Stern, der ihn aussandte, längst erloschen sein mag.

Was dieser Träger seinem Wesen nach ist, darüber macht sich die Elektronentheorie kein grosses Kopfzerbrechen. Da er einen Namen haben muss so nennt man ihn « Aether », allein er ist nicht mehr der alte, elastische Aether der Optik, sondern er stellt einfach ein vollkommen unbewegliches, unveränderliches, durchaus unbekanntes und eigenschaftsloses Substrat dar, an dem sich alle elektrischen Prozesse abspielen, über den und durch den die gewaltigsten elektrischen Kräfte mit riesiger Energie dahingleiten, ohne ihm auch nur die geringste Spur einer Bewegung oder Veränderung mitzuteilen.

Genau genommen ist demnach der Aether nur ein anderes Wort für den absoluten, leeren Raum. Und wenn wir uns auf eine metaphysisch genügend hohe Warte aufschwingen, so werden wir einfach sagen, dass die elektromagnetischen Kräfte, speziell also die Licht- und Wärmestrahlen, sich im absoluten Vacuum ohne einen Träger, als blosse Kraftwirkungen, nach bestimmten Gesetzen fortpflanzen.

Das einzige, was dann noch als Charakteristikum des Aethers überbleibt, ist seine absolute Ruhe: wenn ein Körper, ein Elektron z. B. sich diesem Aether gegenüber nicht bewegt, dann ist er « absolut » ruhend. Aber gerade dieser letzte Hoffnungsanker für die Existenz des Aethers ist durch die neuere Relativitätstheorie in hohem Grade erschüttert; in der Tat ist es kaum denkbar, dass wir Menschen mit unserem Denkvermögen, das nie etwas Absolutes verstehen kann, je eine absolute Bewegung von einer relativen werden unterscheiden können. Damit

löst sich aber tatsächlich der Aether der Elektronentheorie in absolutes Nichts auf: der Aether wird synonym mit dem vollkommenen Vacuum.

Der Wert des Aetherbegriffes als Träger aller elektromagnetischen Kräfte liegt nur darin, dass mit dessen Hülfe die Fülle von Erscheinungen, die in der *Maxwell-Hertz'schen* Theorie in ein einheitliches System zusammengefasst wurden, ohne weiteres in vollem Masse der Elektronentheorie einverleibt werden kann.

Das klassische System der *Maxwell'schen* Differentialgleichungen gilt auch in der Elektronentheorie, und nur über den Ursprung der elektrischen Kräfte, über die sog. Quellen des elektrischen Kraftfeldes, gibt die Elektronentheorie neue, bestimmte Vorstellungen, während die frühere Auffassung nichts Klares darüber aussagen konnte.

Neben den Elektronen und neben dem Aether, der gleichmässig jede Stelle des Raumes, also auch die Elektronen selber ausfüllt, gibt es nach der Elektronentheorie noch ein Drittes: die *materiellen Atome*.

Sie, die gewöhnlichen Atome des Chemikers, in bekannter Weise zu Molekülen gruppiert, sind die Bausteine unserer sichtbaren Körperwelt, der festen, flüssigen und gasförmigen Körper.

Als bloss materielle Atome sind sie aber für die Erscheinungen der Elektrizität absolut indifferent. Natürlich sind sie, wie die Elektronen, von dem alles erfüllenden Aether durchdrungen, aber die mächtigsten Kräfte, die diesen Aether durchsetzen, gehen achtungslos an den Atomen vorbei. Ob die elektromagnetischen Wellen eines Lichtstrahles durch den leeren Interstellarraum oder durch einen kompakten Haufen von Platinatomen hindurch sollen, ist durchaus gleichgültig: die Platinatome als solche sind ebenso durchsichtig wie das Vacuum. — Widerspricht das nicht allen unseren Erfahrungen? — Doch, aber nur deshalb, weil es in unserem Universum keine solche elektrisch neutralen Atome gibt, die nicht in irgend einer Weise von Elektronen begleitet oder sogar direkt an sie gekoppelt wären. Die Atome an und für sich sind gegen elek-

tromagnetische Wirkungen indifferent, aber durch Vermittlung der mit ihnen vereinigten Elektronen können sie zu kräftigen Erregern elektrischer Wellen werden — so z. B. die Atome eines glühenden Auerstrumpfes — und umgekehrt reagieren sie jedes in seiner Weise auf einfallende Wellen, darum wird z. B. ein weisser Lichtstrahl in rotem Glas anders absorbiert als in blauem, und wieder anders in Quarz oder Kalkspath, u. s. w.

Das grosse Problem der Elektronentheorie läuft dahin aus, die *verschiedenen Möglichkeiten von Wechselwirkungen zwischen Atomen und Elektronen so zu ermitteln*, dass aus ihnen folgerichtig die Gesamtheit elektrischer und optischer und magnetischer Phänomene hergeleitet werden kann.

Deuten wir an, welches die drei allgemeinsten Kategorien solcher Wechselwirkungen sind, wobei es selbstverständlich ist, dass in der Natur alle möglichen Uebergänge zwischen diesen drei Gruppen bestehen. Wir können in allgemeinsten Weise *Polarisationselektronen, Leitungselektronen und Magnetisirungselektronen* unterscheiden.

Ein ideales Dielectricum, wie es *angenähert* durch Paraffin, Ebonit oder dergl. dargestellt wird, besitzt nur *Polarisationselektronen*. Die materiellen Moleküle, aus denen der betreffende Körper besteht, sind mit einer Anzahl Elektronen durch unbekannte, sog. quasi-elastische Kräfte eng verbunden, und zwar hat jedes Molekül gleich viel positive und negative Elektronen, so dass es als Ganzes elektrisch neutral ist. Die Elektronen können aber innerhalb der Moleküle um ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage kleine Schwingungen ausführen, sie sind also aus dieser Gleichgewichtslage verschiebbar. Es ist sofort verständlich, dass ein derartiges Dielectricum, zwischen zwei geladene Metallplatten gebracht, genau das Verhalten der polarisirten Moleküle *Faraday's* aufweisen wird, und dass demnach die Ausbreitung elektromagnetischer, resp. optischer Wellen und aller damit zusammenhängenden Gesetzmässigkeiten in der früher skizzierten Weise erfolgt. Auch die umgekehrten Erscheinungen der Mechanik des Leuchtens werden ohne weiteres durch die Schwingungen dieser Polarisationselektronen in anschaulicher Weise dargestellt.

Der Fortschritt gegenüber den früheren Theorien liegt darin, dass diese Elektronen nun durch bestimmte, scharf umgrenzte Begriffe definirt sind.

So gestattet die genaue Analyse dieser Vorgänge, wie sie besonders von *Drude* angeregt wurde, interessante Einblicke in die Struktur der Moleküle. Die schon mehrfach erwähnten Erscheinungen der Dispersion des Lichtes lassen sich nämlich durch die Annahmen von wenigstens zwei Elektronengruppen innerhalb der Moleküle erklären. Jede Elektronengruppe hat eine ganz besondere Eigenfrequenz und wird von fremden, einfallenden Lichtwellen nur dann in merkliche Schwingungen versetzt, wenn sie mit denselben in Resonanz ist; dann aber vernichtet sie geradezu die einfallende Welle, sie absorbiert also die betreffende Farbe des Lichtstrahles. In vollem Einklang mit dieser Theorie zeigt sich tatsächlich, dass auch die durchsichtigsten Körper wie Glas, Quarz, Flusspath, doch in der Regel wenigstens zwei Absorptionsbanden haben, von denen eine im Ultraviolett und die andere im Ultrarot liegt. Die Theorie lehrt aber weiterhin, dass die Absorption im Ultrarot von den mitschwingenden positiven Elektronen, diejenige im Ultraviolett von negativen Elektronen bedingt wird, und als weitere Konsequenz ergibt sich, dass die positiven Elektronen eine Masse haben, die geradezu derjenigen des materiellen Moleküls gleich sein mag, während die negativen Elektronen viel tausendmal geringere Masse besitzen. So wird es wahrscheinlich dass die positiven Elektronen vielleicht nichts anders sind, als die materiellen Atome selber, und dass durch deren Verbindung mit einer entsprechenden Anzahl negativer Elektronen erst das neutrale Atom entsteht. Ja es gelingt sogar, aus jenen rein optischen Messungen ein Urteil über die Zahl der in den Molekülen vorhandenen negativen Elektronen zu gewinnen und merkwürdiger Weise scheint diese Zahl gerade gleich der Anzahl der chemischen Valenzen des betreffenden Moleküles zu sein. Es ist unmöglich auf all' die Spekulationen, die sich an diese Beobachtungen anknüpfen, einzugehen; sie lassen uns ganz neue Zusammenhänge zwischen den chemischen Affinitäten und der elektrischen Konstitution der Materie ahnen.

Den vollkommenen Isolatoren stehen die *Leiter der Elektrizität* gegenüber. Wie bei der elektrolytischen Stromleitung der Elektrizitätstransport nur durch Vermittelung der Bewegung materieller Teilchen, der Ionen, als sog. *Konvektionsstrom* zu Stande kommt, so soll nach elektronentheoretischer Auffassung auch in den Metallen nur ein Konvektionstrom bestehen, in Form der innerhalb der Metallmoleküle vollständig frei sich bewegenden Elektronen, die als *Leitungselektronen* bezeichnet werden.

Daraus ergibt sich eine fast paradox klingende Vorstellung über die elektrischen und chemischen Erscheinungen, die sich in einem Metall abspielen. Die eigentlichen Metallmoleküle kommen dabei kaum in Betracht, sie bilden in erster Linie nur das feste Gerüst, innerhalb dessen die Elektronen in grösster Freiheit mit enormen Geschwindigkeiten sich bewegen können, wobei sie natürlich beständig aufeinanderprallen. Mit andern Worten, die Elektronen bewegen sich im Innern eines Metalles der Hauptsache nach wie die Moleküle eines Gases in einem abgeschlossenen Gefäss. Die Gesetze der kinetischen Gastheorie lassen sich demnach mit geringen Modificationen auf die Elektronentheorie der Metalle anwenden und haben zum Teil sehr auffallende Uebereinstimmung mit den Tatsachen ergeben.

Bringt man an die Enden eines Metallstückes eine elektrische Spannungsdifferenz, so wird im Aether, der ja alles gleichmässig erfüllt, ein elektrisches Feld entstehen, und dieses treibt die freibeweglichen Elektronen in seiner Richtung vorwärts; so entsteht der elektrische Strom. Gleichzeitig wird aber auch die kinetische Energie der Elektronenbewegung vermehrt, und da dieselbe ein Mass der Temperatur des Metalles ist, so wird dasselbe erwärmt. Die theoretische Durchführung dieser Vorstellungen gibt sofort eine Beziehung zwischen dem elektrischen und thermischen Leitvermögen des Metalles, und diese Beziehungen stimmen mit den Beobachtungen im wesentlichen gut überein. Wir können auf die interessanten Konsequenzen dieser Auffassung für die Erscheinungen der Thermostrome, des Peltier-Effektes, des Thomson-Effektes nicht eingehen. Auch die sog. galvanomagnetischen und thermo-

magnetischen Erscheinungen, der sog. Hall-Effekt, der sich u. a. in der Aenderung des elektrischen Widerstandes eines stromdurchflossenen Leiters im magnetischen Felde äussert, finden principiell eine Erklärung durch die Annahme dieser frei beweglichen Leitungselektronen. Freilich zeigt sich hier gerade eine tiefgreifende, grundsätzliche Schwierigkeit, indem es bis zur Stunde nicht gelungen ist, jene interessanten Wechselwirkungen von Magnetismus, Elektrizität und Wärme ohne die Annahme negativer und positiver, freier Elektronen zu erklären, während sonst allgemein die positiven Elektronen immer mehr mit den materiellen Atomen identifiziert werden. Hier klafft noch eine Lücke, die vielleicht berufen ist, die Elektronentheorie der Zukunft in gewissen Punkten umzuformen.

Nach einem dritten Schema ist noch eine Wechselwirkung zwischen Atomen und Elektronen möglich, dasselbe liefert uns das Grundphänomen des Magnetismus, man spricht deshalb von *Magnetisierungselektronen*.

Knüpfen wir hier sofort an ein Bild an, das natürlich keinen andern Anspruch macht, als eben ein anschauliches Bild zu sein. Wie im unendlichen Weltenraum sich unter der Fülle der Gestirne jedenfalls eine Reihe von Planetensystemen befinden, mit einer zentralen Sonne, die von zahlreichen Trabanten nach genau geregelten Gesetzmässigkeiten umkreist werden, so mögen sich unter den zahlreichen Atomgruppierungen eines Körpers auch gewisse Atome befinden, die um ihren positiv geladenen, materiellen, zentralen Kern eine Mannigfaltigkeit von kleinen, negativen Elektronen haben, die in verschiedenartigen Bahnen mit sehr grossen Geschwindigkeiten jenen Kern umkreisen. Und wie das Planetensystem nur durch äussere mächtige Eingriffe, ev. durch Zusammenstoss mit anderen Sternen, eine Störung seiner Stabilität erfährt, so bleiben jene Atome mit ihren Elektronen in ungestörtem Gleichgewicht, bis dasselbe durch äussere Einflüsse oder durch Anprallen an andere Atome modifiziert wird.

Jedes solche, rasch kreisende Elektron sellt aber einen kleinen, geschlossenen elektrischen Strom dar, und jeder solche Strom erzeugt ein magnetisches Feld, als ob er ein winzig

kleiner Elementarmagnet von bestimmter Axenrichtung und mit bestimmtem magnetischen Moment wäre.

Diese kreisenden Elektronen übernehmen genau die Rolle der alten Ampère'schen Molekularströme, sie verdienen also in der Tat die Bezeichnung von Magnetisierungselektronen. Die Theorien von *Ampère* und *Weber* über den Magnetismus lassen sich sofort als Konsequenzen der Elektronentheorie zwanglos erklären.

Es ist hier nicht der Ort die weitere Entwicklung der Theorie des Magnetismus vorzuführen. *Langevin* hat in sinnreicher Weise vermittelt statistischer Betrachtungen die Erscheinungen des Dia- und des Paramagnetismus durch die Magnetisierungselektronen erklärt. *P. Weiss* in Zürich hat in genialer Weise durch Einführung des Begriffes des inneren, molekularen Magnetfeldes und der spontanen Magnetisierung die komplizierten, ferromagnetischen Beziehungen aufgeklärt und in neuester Zeit den Beweis erbracht, dass die Zusammensetzung dieser Elementarmagnete in magnetischen Körpern nicht in voller Willkür vor sich geht, sondern dass sie aus direkter Summation eines unveränderlichen wirklichen Elementarmagneten, des sog. *Magneton*, bestehe. Dadurch ist die in so mancher Richtung fruchtbare atomistische Betrachtungsweise auch auf die Gesetze des Magnetismus übertragbar geworden.

Ueberhaupt liegt einer der Hauptvorzüge der Elektronentheorie darin, dass sie das Gebiet elektrischer Erscheinungen atomistisch aufzufassen gestattet.

Was verstehen wir unter dieser «atomistischen Auffassung?» — Die unseren Sinnen wahrnehmbaren Erscheinungen, die Zustände der Körper, Farbe, Temperatur, elektrische Ladung etc. werden ganz allgemein als blosse Resultanten, als Mittelwerte zahlreicher Bewegungszustände von unwahrnehmbar kleinen, diskreten Teilchen, Atomen und Elektromen, dargestellt. Die Beziehungen, die diese Teilchen unter einander haben, werden durch verhältnissmässig einfache Gesetze geregelt, aber indem nun diese Teilchen und ihre Bewegungen in mannigfaltigster Weise mit einander combinirt werden, gelingt es allmählich, durch Anwendung der Gesetze der Wahrscheinlich-

keitsrechnung, also nach den bekannten Methoden der Statistik, die Gesamtheit der Erscheinungen in der Natur durch diese atomistischen Bewegungen klarzulegen.

Und der grosse Vorteil dieser Auffassungsweise liegt darin, dass sich daraus zwanglos erklärt, wieso alle Naturerscheinungen sich den alles beherrschenden zweiten Hauptsatze der Thermodynamik, dem Gesetze der steten Vermehrung der Entropie, unterordnen müssen.

Bedeutet also die Elektronentheorie einen wirklichen Fortschritt in der Erkenntnis der Beziehungen zwischen elektrischen, optischen, magnetischen und thermischen Erscheinungen, so wäre es dagegen ein Irrtum zu glauben, dass durch sie das wahre Wesen dieser Erscheinungen irgendwie besser als zuvor erkannt werden könnte.

Die Elektronentheorie führt alles auf die drei Typen : Aether, Elektronen, Atome, zurück, aber weniger denn je wissen wir, was dieser Aether, was diese Elektronen, was diese Atome eigentlich sind.

Wie aber die elektronentheoretische Auffassung einen ganz neuen Aufschwung gewisser Forschungsgebiete erleichtert, ja veranlasst hat, das mag an folgenden drei Gebieten in Kürze dargetan werden : An den *magneto-optischen Phänomenen*, an den *Erscheinungen der Elektronenstrahlung* und an den *Problemen der Elektrodynamik bewegter Körper*.

Die *Lorentz'sche* Elektronentheorie fand lange Zeit keine begeisterte Aufnahme bei den Physikern bis, im Jahre 1896, der Holländer *Zeeman* seine ausschlaggebenden Experimente erfolgreich durchgeführt hatte.

Seine Versuchsanordnung ist bekannt. Ein glühender Metall dampf, etwa Cadmiumdampf, wird zwischen die Polschuhe eines intensiven Elektromagneten gebracht und seine Strahlung durch einen kräftigen Spektralapparat untersucht. So lange der Magnet nicht erregt ist, erscheinen im Spektrum eine Anzahl wohldefinierter, scharf begrenzter, farbiger Linien, die keine Polarisierung nachweisen lassen, sobald aber das magnetische Feld wirksam geworden ist, tritt eine Modifi-

kation dieser Linien ein. Betrachtet man die Lichtquelle in der Richtung der magnetischen Kraftlinien, so erscheinen im Spektrum an Stelle einer Linie deren zwei, und bei genauerem Zusehen erweist sich ihr Licht als zirkular polarisiert und zwar stets so, dass die Linie, die gegen das violette Ende des Spektrums verschoben ist, im Sinne der das Magnetfeld erregenden Ströme polarisiert ist. Betrachtet man die Erscheinung in der Richtung senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien, so erscheinen im Spektrum sogar drei Linien, die alle linear polarisiert sind: die mittlere senkrecht zur Richtung der magnetischen Kraft, die äusseren parallel zu derselben.

Dieses merkwürdige Phänomen lässt sich bis in's Detail aus der Elektronentheorie herleiten.

Die Ionen des glühenden Cadmiumdampfes sind zunächst als einfache, elektrische Dipole zu betrachten, bestehend aus dem elektropositiven, materiellen Atomkern der durch quasi-elastische Kräfte mit einem negativen Elektron verbunden ist. Die Lichtaussendung entsteht dadurch, dass das Elektron mit ganz bestimmter Frequenz um jenen zentralen Atomkern hin- und herpendelt und demnach elektromagnetische Wellen bestimmter Wellenlänge entsprechend der betreffenden Linie des Cadmiumspektrums aussendet. Wird jetzt ein Magnetfeld erregt, so übt dieses nach den Grundgesetzen der Elektronentheorie drehende Kraftwirkungen auf die Elektronen aus, und ihr Resultat ist ein Schwingungszustand, der sich in drei elektromagnetische Wellenzüge von wenig differierenden Wellenlängen und bestimmten Polarisationszuständen zerlegen lässt, genau den beobachteten Spektralerscheinungen entsprechend.

Nur beiläufig sei bemerkt, dass auch der inverse Zeeman-Effekt, der bei magnetischer Beeinflussung der Lichtabsorption auftritt, ebenfalls elektronentheoretisch vollständig klargelegt werden kann, und dass sogar die eigentümlichen Spektralerscheinungen der Sonnenflecken die von *Hale* in Chicago beobachtet wurden, durch das Auftreten magnetischer Wirbelfelder infolge rasch bewegter Elektronen erklärt werden können.

Die Theorie gestattet nun direkt, Anhaltspunkte über die Natur der lichterregenden Elektronen zu erhalten. Die zahlreichen Messungen zeigten, dass bei den verschiedensten beobachteten Metalldämpfen stets dieselben Elektronen wirksam sind, unabhängig von der Natur des Metalles. Es sind stets *negative Elektronen*, die pro Masseneinheit eine elektrische Ladung haben, die etwa 2000 mal grösser ist, als die auf die Masseneinheit bezogene Valenzladung materieller Ionen, die ja aus elektrolytischen Messungen sehr genau ermittelt werden kann.

Da aber nach der Auffassung der Elektronentheorie die elektrische Elementarladung selber eine absolut unveränderliche Grösse ist, so folgt daraus, dass diese negativen Elektronen, die überall in gleicher Weise bei der Lichterregung tätig sind, eine etwa 2000 mal geringere Masse, als die leichtesten bisher bekannten Atome, als die Wasserstoffatome haben.

So einfach, als es nach diesen Darlegungen scheinen mag, liegen die Dinge allerdings nicht. In den meisten Fällen wird eine Spektrallinie durch das magnetische Feld nicht nur in ein Triplet, sondern in eine bedeutend grössere Zahl einzelner Linien zerlegt. Der Mechanismus des Leuchtprozesses kann also nicht so einfach sein, wie er wohin geschildert wurde, und das ist eigentlich zu erwarten, da jedenfalls in jeder leuchtenden Atomgruppe viel kompliziertere Kräfte wirken und nicht nur ein negatives Elektron, sondern eine ganze Anzahl solcher in Schwingungen und also auch in Wechselwirkungen geraten.

Auffallend ist es, dass hier, wie auch bei anderen Erscheinungen, wo das Experiment einen Einblick in die Natur der Elektronen ermöglicht, es sich immer nur um negative, und nie um *positive Elektronen* handelt. Wo positive Elektrizität auftritt, da erscheint sie jeweilen mit dem eigentlichen, materiellen Atom untrennbar verbunden. Dies würde auf eine unitarische Auffassung der Elektrizität hinweisen; eine eigentlich selbstständige Existenz käme nur der negativen Elektrizität zu: wenn ein materielles Atom mit einer genügenden Anzahl negativer Elektronen gekoppelt ist, so ist es elektrisch neutral,

und in dem Masse als es dissoziiert wird, d. h. negative Elektronen abgibt, zeigt es andere Erscheinungen, die wir als Wirkungen einer positiven Ladung bezeichnen. — Ein definitives Urteil in dieser wichtigen Frage kann noch nicht gefällt werden. *Jean Becquerel* hat die merkwürdigen Emissions- und Absorptionsspektren gewisser Substanzen unter speziellen Verhältnissen studiert und Zeeman-Effekte beobachtet, die auf die Existenz wirklich selbstständiger, positiver Elektronen schliessen liessen. Dies würde wieder zu Gunsten einer dualistischen Auffassung sprechen.

Noch eines sei über diese allgemeinen Probleme der Mechanik des Leuchtens bemerkt. Sucht man denselben ganz auf den Grund zu kommen, so stösst man auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Wenn jede Linie in den Spektren glühender Metaldämpfe durch Oszillationen eines negativen Elektrons erzeugt werden soll, so müssten z. B. um den positiven Atomkern des Eisens einige Tausend derselben hin- und herpendeln. Das Atom wäre dann einer Sonne zu vergleichen, die von einigen Tausend Planetoïden umkreist wird, nur mit dem grossen Unterschied, dass diese Elektronenplanetoïden ihre Energie beständig in Form von Strahlung nach aussen abgeben und demnach unfehlbar in die zentrale Atomsonne hineinstürzen müssten. Ein solches Atom wäre also keineswegs stabil und dies ist doch die unbedingte Voraussetzung eines jeden dauernden Leuchtprozesses. Wohl sind geistreiche Versuche gemacht worden, diesen Mechanismus mit seiner Gesetzmässigkeit der Spektrallinien theoretisch klarzulegen, und wir wollen nicht vergessen, dass der leider zu früh verstorbene Schweizer Physiker *W. Ritz* gerade hierin Grosses geleistet hat. Allein es treten dabei wirklich prinzipielle Schwierigkeiten auf, die uns ahnen lassen, dass die Elektronentheorie vielleicht noch tiefgreifende Umwandlungen wird erfahren müssen.

Wenden wir uns zum Gebiete der *Elektronenstrahlung*, das den eigentlichen Triumphzug der Elektronentheorie bildet.

Die merkwürdigen Lichterscheinungen der sogen. *Geissler'schen Röhre* sind verhältnismässig alt. In hohem Vacuum nehmen diese elektrischen Entladungen in Gasen ganz bestimmte

Formen an, es treten Strahlen auf, die von der Kathode ausgehen, deren Studium den englischen Physiker *Crookes* auf ganz eigenartige Gedanken brachte, die lange Zeit hindurch nur mit Kopfschütteln angesehen wurden, während sie jetzt volle Anerkennung geniessen.

Jetzt bilden diese *Kathodenstrahlen* eine der wichtigsten Erscheinungen der modernen Physik. Ihre Gesetze sind genau bekannt und ergeben eine vollständig abgerundete Theorie, die, so seltsam auch ihre Resultate klingen mögen, zur Stunde ganz allgemein angenommen wird. Die Kathodenstrahlen besitzen eine beträchtliche Energie, sie werden von einem Magnetfelde beeinflusst, und zwar in schraubenförmigen Windungen um die Kraftlinien herumgedreht, sie werden vom elektrischen Felde abgelenkt, und endlich führen sie eine messbare, negative elektrische Ladung mit sich. Mit anderen Worten, sie verhalten sich Punkt für Punkt wie ein Strom aufeinanderfolgender, negativer Teilchen, es weist alles übereinstimmend darauf hin, dass wir es hier mit einer *beständigen Ausströmung negativer Elektronen* zu thun haben, die in grosser Menge und mit unvorstellbaren Geschwindigkeiten aus der Kathode ausgeschleudert werden.

Hier treten also die Elektronen ganz selbstständig und frei zu Tage, und wenn wir die Kathodenstrahlen durch ein sogen. *Lenard'sches Fenster* in die Luft treten lassen, so haben wir gewissermassen greifbar die Elektronen vor uns, diese letzten Uratome der Elektrizität, diese kleinsten Massenteilchen, die wir uns überhaupt denken können!

Desshalb ist das Studium der Kathodenstrahlen so ausserordentlich wertvoll, und die Messungen an denselben haben wieder auffallend übereinstimmende Resultate gegeben. Die hier nachweisbaren negativen Elektronen sind dieselben, die im *Zeeman'schen* Phänomen zu Tage treten, auch ihre Masse ist etwa 2000 mal kleiner als diejenige des Wasserstoffatoms. Und dass es auch dieselben negativen Elektronen sind, die in den Metallen als Leitungselektronen die elektrischen Prozesse bedingen, das lehrt die Beobachtung des sogen. *Richardson-Effektes*.

Wird nämlich ein Metall intensiv erwärmt, so gehen neben den gewöhnlichen Wärmestrahlen noch andere Strahlen von ihm aus, die durch ihre indirekte Wirkung erkannt werden und die sich genau wie langsame Kathodenstrahlen verhalten. Dieselben können aus nichts anderem bestehen, als aus den im Metall sich bewegenden, negativen Elektronen, die bei der vermehrten Energie der hohen Temperatur aus dem Innern desselben heraustreten und in die Umgebung hinausgeworfen werden; auch für sie hat sich tatsächlich dieselbe spezifische Ladung, wie bei den Kathodenstrahlen, nachweisen lassen.

Welche Bedeutung diese Auffassung der Kathodenstrahlen für das Verständniss des modernsten Gebietes der Physik, der *Radioaktivität*, erlangt hat, braucht nicht noch besonders hervorgehoben zu werden. In den β -Strahlen des Radiums tritt uns die Aussendung negativer Elektronen genau so wie in den Kathodenstrahlen entgegen, mit dem Unterschiede, dass die Geschwindigkeiten jener Teilchen in den β -Strahlen noch erheblich grösser sind, indem sie bis 283,000 Kilometer pro Sekunde erreichen.

An diese grossen Geschwindigkeiten hat sich ein Problem der Elektronentheorie geknüpft, das von weittragendster theoretischer Bedeutung ist, und das wir nicht übergehen dürfen: Das Problem der *Masse der Elektronen und ihrer Veränderlichkeit*.

Das Elektron der Kathodenstrahlen und der Radiumstrahlen sowie auch des Zeemann'schen Phänomens wird in der Theorie wie ein kleiner, materieller Körper behandelt, d. h. wie ein Teilchen, das sich dem zweiten Newton'schen Axiome unterordnet, das also eine bestimmte träge Masse besitzt, die sich aus den elektromagnetischen Ablenkungsversuchen direkt ermitteln lässt. Solche Versuche, die zuerst von *W. Kaufmann* mit grösster Sorgfalt durchgeführt wurden, zeigten nun, dass diese Masse der Elektronen nicht konstant ist, sondern mit zunehmender Geschwindigkeit wächst. In den raschen β -Strahlen des Radiums haben die negativen Elektronen eine viel grössere Masse als die genau gleichen Elektronen in den langsamen Kathodenstrahlen. Spätere Versuche haben dies durchwegs be-

stätigt: Die Masse des Elektrons ist nicht konstant, sie hängt ab von der Geschwindigkeit seiner Bewegung.

Was das bedeutet verstehen wir, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass bisher die Masse geradezu der typische Begriff alles Unzerstörbaren und Unveränderlichen war, das absolut Konstante im vollsten Sinne des Wortes.

Die Elektronentheorie fügte sich aber mit Leichtigkeit in diese so unerwartete, allen Grundsätzen der Mechanik widersprechende Tatsache. Ja, sie fand, dass die Elektronen überhaupt gar keine materielle Masse im wahren Sinne des Wortes besitzen, sondern nur eine scheinbare, elektromagnetische, träge Masse.

In der gewöhnlichen Auffassung, wie sie bisher die ganze Physik beherrschte, wird nie ein Unterschied zwischen träger Masse und zwischen materieller Masse gemacht, weil sich tatsächlich nie ein solcher Unterschied konstatieren liess. Die materielle Masse, die durch Wägung eines Körpers bestimmt wird, die also ausschliesslich durch die allem Stoff anhaftende Gravitationswirkung bedingt ist, braucht aber nicht notwendigerweise dasselbe zu sein wie die träge Masse, d. h. wie der Faktor, mit dem irgend eine Beschleunigung multipliziert werden muss, um die sie erzeugende mechanische Kraft zu ermitteln.

Gerade bei den Elektronen tritt dieser Unterschied klar zu Tage. Jedes Elektron, das z. B. in einem Radiumstrahl dahinsauert, nimmt sein ganzes elektromagnetisches Kraftfeld mit sich; bildlich ausgedrückt schleppt es ein bis in die Unendlichkeit sich ausdehnendes Netz elektrischer und magnetischer Kraftlinien mit sich. Natürlich wird dann jeder Kraft, die die Bewegung des Elektrons abändern möchte (z. B. einer ablenkenden magnetischen Kraft), ein gewisser hemmender Widerstand entgegentreten, und dieser Widerstand äussert sich genau in der Form einer trägen Masse. In Wirklichkeit kann das Elektron aus blosser Elektrizität bestehen, also total unwägbare und frei von jeder Gravitationswirkung sein, vollständig immateriell, dennoch zeigt es jeder Kraftwirkung gegenüber ein Verhalten, als ob es eine ganz bestimmte träge Masse hätte. — So ist es nicht zu verwundern, dass diese vorgespiegelte Masse gar keine konstante ist, sondern mit der Geschwindigkeit

zunimmt; ja, dass sie nach theoretischen Berechnungen unendlich gross werden müsste, wenn das Elektron je die Lichtgeschwindigkeit von 300,000 Kilometer per Sekunde erreichen sollte. Dann würde das in Ruhe unsichtbare Elektron von etwa einem Billionstels-Millimeter Durchmesser eine Masse haben, die grösser wäre als alle Sonnen des Universums zusammengekommen!

Wir verstehen, welche neue Horizonte diese Feststellung für die Auffassung der ganzen Natur eröffnet. Das alte Prinzip der Erhaltung der Masse gilt nicht mehr unbedingt, sondern ist nur noch ein angenähertes Prinzip, das im grossen und ganzen, innerhalb gewisser Grenzen, noch brauchbar bleibt.

Sollte es sich aber je bestätigen, dass überhaupt die ganze Welt materieller Atom nur als eine Zusammensetzung von Elektronen aufzufassen sei, dann müsste die Masse eines jeden Körpers mit seiner Geschwindigkeit sich ändern: Die Masse einer Kanonenkugel im Momente des Fluges wäre dann immer um einen Bruchteil von einigen Billionstels-Milimetern grösser als im Moment der Ruhe.

Die Ueberlegenheit der Elektronentheorie über allen früheren Vorstellungen der Elektrizitätslehre hat sich besonders in einem ziemlich neuen Gebiete gezeigt, in der *Elektrodynamik und Optik bewegter Körper*.

Denken wir uns eine elektrisch geladene Metallkugel isoliert in der Luft ruhend. Sie erzeugt ein bestimmtes Kraftfeld, und die Grösse und Richtung der elektrischen Kräfte in irgend einem Punkte des Raumes, den wir « Aufpunkt » nennen wollen, können nach bekannten Methoden genau gemessen werden.

Was geschieht, wenn die Kugel, anstatt zu ruhen, mit enormer Geschwindigkeit durch die Luft fliegt?

Die Antwort der alten Fernwirkungstheorie war einfach. Die elektrische Kraft im Aufpunkt berechnet sich in jedem Augenblick nach dem *Coulomb'schen* Gesetze aus der momentanen Lage der Kugel zum Aufpunkt. — Die *Hertz-Maxwell'sche* Theorie gibt eine kompliziertere Berechnungsweise: Die Kraft im Aufpunkt in einem gegebenen Zeitmoment hängt nicht ab von der Lage der bewegten Kugel im gleichen Augenblick, son-

dern von einer etwas früheren. Warum? — Weil die elektrische Kraft nicht momentan sich ausbreitet, sondern mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit. Die elektrischen Kräfte breiten sich also wie Lichtstrahlen von der dahinfliegenden Kugel aus und erreichen jeweilen den Aufpunkt immer um einen Bruchteil einer Sekunde später als der Zeitpunkt angibt, da sie ausgestrahlt wurden.

Zudem stellt aber die rasch bewegte Kugel, die ihr ganzes Kraftfeld mitschleppt, einen Konvektionsstrom dar, und nach den neuen Auffassungen erzeugt ein solcher, so gut wie irgend ein anderer galvanischer Strom, ein magnetisches Feld. Obgleich also gar kein Magnet im Spiele ist, wird infolge der blossen Bewegung der Kugel auf einmal eine magnetische Kraft im ruhenden Aufpunkte bemerkbar werden.

Versuche von *Rowland* und von *Eichenwald* haben diese Schlussfolgerungen vollständig bestätigt: Eine Scheibe aus isolierender Substanz war auf beiden Seiten mit ringförmigen Staniolbelegungen versehen, die wie Kondensatorplatten auf eine bestimmte elektrische Spannungsdifferenz geladen waren. Wurde die eine dieser Belegungen in rasche Rotation versetzt (entsprechend der vorhin angenommenen Bewegung der Metallkugel), so dass ihre Ladung einen Konvektionsstrom erzeugte, so war das Auftreten magnetischer Kräfte deutlich wahrnehmbar.

Die Elektronentheorie schliesst sich dieser Auffassung ohne weiteres an. Allein das Problem kann noch anders gestellt werden: Man denke sich die geladene Metallkugel mit sammt dem Aufpunkt in gleicher Weise durch die Luft bewegt. Die beiden sind dann relativ zu einander in vollkommener Ruhe, und ein mikroskopisches Wesen, das den Aufpunkt bewohnte und nichts anderes sehen könnte als die Kugel, würde unentwegt behaupten, dass überall vollkommene Ruhe herrsche. Aber relativ zur umgebenden Luft bewegen sich beide, Kugel und Aufpunkt, die Kraftlinien die von der Kugel ausgehen gleiten über die Luftmoleküle hinaus und modifizieren dabei deren Polarisationszustand. Sowohl nach der *Maxwell'schen* Theorie, wie auch nach der *Lorentz'schen* Auffassung muss demnach im Auf-

punkt ein magnetisches Feld vorhanden sein, und dieses würde dem kurzichtigen Bewohner offenbaren, dass seine Ruhe nur eine scheinbare ist.

Für den entscheidenden Versuch ist es natürlich gleichgültig, ob Kugel und Aufpunkt sich in der ruhenden Luft oder auch in irgend einem andern Isolator bewegen, oder ob umgekehrt der Isolator sich gegenüber der ruhenden Kugel und dem ruhenden Aufpunkt bewegt.

Röntgen und *Eichenwald* haben für diesen Fall tatsächlich die Existenz des entstehenden magnetischen Feldes dargetan. Wie bei den vorhin erwähnten Versuchen wurde ein kreisförmige Plattenkondensator verwendet, aber diesmal blieben die beiden Belege ruhig und nur das isolierende Dielectricum wurde in rasche Umdrehung versetzt. Die magnetische Kraft trat sofort messbar auf.

Aber wie nun, wenn alles zusammen, Kugel, Aufpunkt und die Luft die Bewegung mitmachen? Oder, um an die konkret ausgeführten Versuche zu denken, wie verhält es sich, wenn der ganze Kondensator, Dielectricum und Metallplatten, in gleicher Weise rotieren? Wird auch dann noch ein magnetisches Feld nachweisbar sein?

Hier scheiden sich die Wege. *Hertz* sagt Nein, *Lorentz* sagt Ja, und der Unterschied liegt in der grundsätzlichen Auffassung über den Aether oder, genauer gesagt, in der grundsätzlichen Auffassung über « absolut » und « relativ ».

Nach *Lorentz* gibt es einen « absoluten » Raum, der identisch ist mit dem Begriff des Aethers. Sobald sich irgend eine elektrische Ladung relativ zu diesem unbeweglichen Aether bewegt, so muss sie eine andere Kraftwirkung erzeugen, als wenn sie im Aether ruhen würde. In dem oben erwähnten Beispiele rotiert die ganze wahrnehmbare Materie, aber der Aether, der sowohl das Metall wie das Dielectricum gleichmässig durchdringt, bleibt in Ruhe, die bewegte Ladung muss also ein magnetisches Feld ergeben. — Nach *Hertz-Maxwell* gibt es nichts absolutes. Der Aether, sofern er innerhalb eines Körpers als Träger elektromagnetischer Kräfte wirksam ist, macht alle Bewegungen dieses materiellen Körpers mit. Rotiert also der ganze Kondensator

sator, so rotiert der Aether mit, es kann kein magnetisches Feld entstehen.

Die von *Eichenwald* ausgeführten Versuche haben mit unwiderleglicher Sicherheit das Auftreten eines magnetischen Feldes gezeigt. Sie bilden das Experimentum crucis, das gezeigt hat, dass in diesen hochinteressanten Erscheinungen die Vorstellungen der Elektronentheorie uns ein besseres Verständnis ermöglichen als die Vorstellungen der sonst so genialen Maxwell'schen Theorie.

Von allgemeinem Interesse werden jedoch diese Fragen, wenn sie auf das *Gebiet der Optik* übertragen werden. Und da die Lichtstrahlen nichts anderes als elektromagnetische Wellenzustände sein sollen, so müssen sich die elektrischen Probleme ohne weiteres auf die Optik erweitern lassen.

Das den Eichenwald'schen Versuchen analoge Problem formuliert sich dann folgendermassen: wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes durch einen durchsichtigen Körper hindurch, etwa durch Wasser, verändert, wenn der Körper selber bewegt wird? Nach *Hertz* macht der Aether die Bewegungen materieller Körper mit, also muss die Frage bejaht werden: die Geschwindigkeit des bewegten Körpers addiert sich einfach geometrisch zu derjenigen des Lichtes. Nach *Lorentz* bleibt der Aether ganz in Ruhe, aber die elektromagnetischen Lichtwellen pflanzen sich zum Teil auch durch die polarisierbaren, materiellen Moleküle hindurch, werden also von der Bewegung des materiellen Körpers teilweise mitgerissen. — Die schönen Versuche *Fizeau's*, der untersuchte, ob die Lichtgeschwindigkeit in einer langen Wasserröhre modifiziert werde, wenn das Wasser zu strömen beginnt, lauten durchaus zu Gunsten der Elektronentheorie, eine neue sichere Stütze dieser modernen Auffassung bildend.

Aber die ganze Fragestellung hat eine direkt *kosmische Bedeutung*, die nicht schwer zu verstehen ist.

Wir führen alle unsere physikalischen Versuche auf unserer kleinen Erde aus und sprechen ohne weiteres von einem «ruhenden» Gegenstand, wenn derselbe relativ zur Erde seine Lage beibehält. Und doch glauben wir, auf Grund der kopernikani-

schen Weltauffassung, dass unsere Erde im Raume gar nicht ruht, sondern ausser ihrer täglichen Umdrehung um die Erdaxe (die relativ langsam ist, etwa 450 Meter pro Sekunde für einen Punkt des Aequators) noch in gewaltiger Bahn, mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 Kilometer per Sekunde, die Sonne umkreist. Dass sie ausserdem noch, von der Sonne mitgerissen, im Weltraume eine noch unbekannte Bahn beschreibt, das sei der Vollständigkeit halber auch noch erwähnt, obgleich wir darauf nicht weitere Rücksicht nehmen werden.

Sofort muss in uns die Frage aufsteigen: Hat diese Bewegung der Erde im Raum einen Einfluss auf unsere irdischen Experimente? — oder anders formuliert: *Ist es möglich, durch blosse Experimente auf der Erde, ohne je einen Blick auf den funkelnden Sternenhimmel zu werfen oder die am Himmelsgewölbe wandernde Sonne zu beobachten, nachzuweisen, dass unsere Erde im absoluten Raume sich tatsächlich bewegt?* — Diese Frage ist nicht so müssig, wie sie erscheinen mag. Denn die Gesamtheit astronomischer Beobachtungen, inklusive den optischen Erscheinungen der Aberration, sagen uns genau genommen nur, dass die Erde sich relativ zur Sonne und relativ zu den Fixsternen bewegt; ob aber die Sonne, resp. die Sternenwelt ruhe und die Erde sich bewege, oder ob umgekehrt die Erde das ruhende Weltzentrum sei, um das herum alles andere wirbelt, — darüber gibt uns die beobachtende Astronomie keine absolute Antwort, sondern nur Wahrscheinlichkeitsgründe.

So wird denn die Frage, ob rein physikalische Versuche die Bewegung der Erde offenbaren können, von faszinierendem Interesse.

Betreffs der Erdrotation kann diese Frage bejaht werden; der *Foucault'sche* Pendelversuch kann wohl kaum anders aufgefasst werden.

Aber wie verhält es sich mit der *Bewegung der Erde um die Sonne?*

Darüber zuerst eine Vorbemerkung: Die Bahn der Erde um die Sonne ist zwar eine krumme Linie; allein dasjenige Stück dieser Bahn, das die Erde während der Dauer unserer gewöhnlichen physikalischen Versuche (von einigen Stunden, eventuel

Tagen) beschreibt, ist tatsächlich als eine gerade Strecke aufzufassen, die mit gleichförmiger Geschwindigkeit beschrieben wird. Es ist aber längst bekannt, dass alle Gesetze der Mechanik von einer solchen geradlinigen, gleichförmigen Bewegung durchaus unbeeinflusst bleiben. Es ist also aussichtslos durch Versuche mit mechanischen Apparaten, analog dem *Foucault'schen* Pendel, unsere Frage beantworten zu wollen.

Wie verhält es sich aber mit elektrischen und optischen Erscheinungen?

Auch hier gehen wieder die Wege auseinander. *Hertz* kennt nur den Aether, der von der Materie mitgerissen wird, der also alle Bewegungen der Erde mitmacht: nach dieser Auffassung wird sich durch keine terrestrischen Versuche die Bewegung der Erde im Raume nachweisen lassen.

Die *Lorentz'sche* Elektronentheorie hat einen ganz anderen Standpunkt. Seine Elektronen und die mit ihnen gekoppelten, materiellen Atome der Erde sausen durch den ewig unbeweglichen, absolut ruhenden Aether hindurch. Lichtsignale und Funkensignale drahtloser Telegraphie pflanzen sich in diesem ruhenden Aether fort, während unsere Erde, unsere atmosphärische Luft, unsere Leuchtkörper, unsere Sender- und Empfängerstationen sich relativ zu ihm beständig weiterbewegen. Selbstverständlich muss dann ein solches Signal eine andere scheinbare Geschwindigkeit haben, wenn es im Sinne der Erdbewegung sich ausbreitet, als wenn es in entgegengesetztem Sinne weiter geht.

Nach dieser Auffassung muss es möglich sein, durch rein terrestrische, optische oder elektrische Versuche einen Aufschluss über die Bewegung der Erde zu bekommen.

Aber sämtliche, tatsächlich ausgeführten Versuche haben in seltener Uebereinstimmung ergeben, dass eine solche Bewegung nicht nachweisbar sei! Für viele dieser Versuche ist der Grund des negativen Resultates leicht einzusehen. Die theoretischen Berechnungen der Elektronentheorie zeigen, dass der Einfluss der Erdbewegung die Messungsergebnisse nur etwa um einen Hundertmillionstel ihres Gesamtbetrages verändern würde und da ist es verständlich, dass die Mehrzahl der Ver-

suche eine so kleine Grösse nicht mehr zu messen gestatten. Und doch gibt es wenigstens *einen* Versuch, der von den Amerikanern *Michelson* und *Morley* ausgeführt wurde und dessen Anordnung so ausserordentlich fein war, dass solche Aenderungen von weniger als einem Hundermillionstel des Gesamtergebnisses mit Sicherheit nachweisbar waren, und auch dieser entscheidende Versuch offenbarte nichts von dem erwarteten Einfluss der Erdbewegung!

Gegenüber einem solchen Resultat sind verschiedene Stellungnahmen möglich. Entweder kann man überhaupt den kopernikanischen Standpunkt fahren lassen und zum alten, ptolemäischen Weltsystem zurückkehren; allein unsere Astronomen werden sich kaum dazu bequemen wollen. Oder man kann die *Hertz-Maxwell'sche* Auffassung gegenüber der Elektronentheorie bevorzugen; allein dies ist nach den *Eichenwald'schen* und *Fizeau'schen* Beobachtungsergebnissen kaum zulässig.

So bleibt nichts anders übrig, als die ursprüngliche Formulierung der *Lorentz'schen* Elektronentheorie so abzuändern, dass sie mit dem Versuche von *Michelson* und *Morley* in Uebereinstimmung gebracht werden kann.

Lorentz hat selber in genialer Weise die Hypothese aufgestellt, die dieses Ziel möglich scheinen lässt: es ist die Hypothese der *Kontraktion der starren Körper infolge blosser Bewegung*.

Vom Standpunkte eines elektromagnetischen Weltbildes ist dieser Gedanke nicht so ungeheuerlich, wie er auf dem Boden des rein mechanistischen Weltbildes erscheinen würde.

Wir haben dieses *elektromagnetische Weltbild* schon einmal angedeutet: in demselben bilden eigentlich die immateriellen Elektronen die Bausteine der ganzen Welt, besondere Kombinationen derselben liefern das, was wir materielle Atome nennen, und die grossen Prinzipien der Mechanik sind dann nur Spezialfälle der viel allgemeineren, universalen Prinzipien der Elektronentheorie. Nicht die Elektrizitätslehre wird dann in das Schema der Mechanik hineingepasst, sondern die *ganze Physik ist nichts anderes als das Gesamtgebiet der Elektrizität*. Das letzte, räthelhafte, nie erforschbare Wesen der Natur ist

dann nicht mehr der Stoff mit seinen Atomen, sondern die Elektrizität mit ihren Elektronen.

Was für die Elektronen galt, gilt dann *mutatis mutandis* für alle Atome. Hatten wir schon festgestellt, dass die Variabilität der Masse mit der Geschwindigkeit auf diese Weise universelle Geltung bekommt, so gilt nun dasselbe für die Variabilität der Form eines sogen. starren, undeformirbaren Körpers mit der Geschwindigkeit. Denn nach der *Lorentz'schen* Vorstellung werden alle Elektronen durch blosse Bewegung in der Richtung dieser Bewegung zusammengedrückt; ein ursprünglich kugelförmiges Elektron eines Radiumstrahles ist infolge seiner Bewegung in ein stark abgeplattetes Rotationsellipsoid umgewandelt. Wird dieser Gedanke verallgemeinert, so folgt, dass jeder Körper, mag er uns noch so starr scheinen, durch Bewegung automatisch zusammengedrückt wird. Ein Meterstab, der in Richtung der Erdbewegung zu liegen kommt, muss immer um einen Fünfhunderttausendstel Millimeter kürzer sein, als ein identischer Meterstab, der senkrecht zu dieser Bewegungsrichtung liegt! — Diese Kontraktion entgeht unseren feinsten mechanischen Messungen, aber ihre Existenz genügt, um den Einfluss der Erdbewegung auf die feinsten elektrischen und optischen Versuche aufzuheben und alle negativen Resultate derartiger Versuche befriedigend zu erklären.

Es gibt noch eine andere Möglichkeit, die Formeln der Elektronentheorie voll und ganz aufrecht zu erhalten und doch, ohne Kontraktionshypothese, die Abwesenheit eines Einflusses der Erdbewegung zu erklären. Diese Möglichkeit liegt in den Vorstellungen der *Relativitätstheorie*, jener kühnen, selbstverständlichen und doch so paradoxen Theorie, die zuerst in Bern von Prof. *Einstein* klar formuliert wurde, und die alle jene schwierigen Fragen der Erdbewegung unter einem ganz andern Lichte erscheinen lässt.

Wir müssen der Versuchung widerstehen, diese grossartigen Gedanken hier vorzuführen, denn sie passen nicht mehr in den Rahmen unseres heutigen Vortrages. Es genügt, darauf hingewiesen zu haben, dass sich hier ganz neue Standpunkte für die moderne Betrachtung physikalischer Probleme eröffnen.

Unser Wissen ist und bleibt ja Stückwerk. Allein es gelingt uns doch, Schritt für Schritt die Zusammenhänge der Erscheinungswelt aufzudecken und in einheitlichen Bildern zusammenzufassen. Mehr darf von der theoretischen Physik nicht verlangt werden.

Und in diesem Sinne bietet uns die moderne Elektronentheorie, trotz ihrer zahlreichen Lücken, ein grandioses Bild der gesamten, elektrischen, optischen und magnetischen Erscheinungen, das uns ein Verständnis für ihre manigfaltigen Wechselbeziehungen gibt, das wir nie geahnt hätten, und das uns Einblicke in ihre Zusammenhänge gibt, die wir kaum für möglich gehalten hätten.