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

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 84 (1901)

Artikel: Ueber die Wandlungen in den physikalischen Grundanschauungen

Autor: Kleiner, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90091

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ueber die Wandlungen in den physikalischen Grundanschauungen.

Von Prof. Dr. A. KLEINER, Zürich.

1.

Wenn in der letzten Zeit bei vielen, der heutigen ähnlichen, Gelegenheiten Umschau gehalten wurde über den Bestand unserer Erkenntnisse auf physikalischem Gebiet und namentlich über die Veränderung der elementarsten Begriffe und Methoden der Wissenschaft, so hängt das nicht sowohl zusammen mit der zufälligen Thatsache, dass wir an der Grenze eines Jahrhunderts stehen, sondern mit der oft fast verblüffenden Raschheit, mit der alte Anschauungen und Theorien, die als klassisch gegolten hatten, als unhaltbar aufgegeben wurden und durch neue ersetzt worden sind, welche eine Zeit lang als die endgültigen betrachtet wurden, bald aber ihrerseits andern, oft den ursprünglichen sich wieder nähernden, weichen mussten. Diese Häufigkeit revolutionärer Umgestaltungen muss uns veranlassen, uns darüber Rechenschaft zu geben, von welchem Grade der Sicherheit und Beständigkeit unsere Erkenntnisse seien, von welcher Natur Wahrheit auf dem Gebiet physikalischer Forschung.

Wir müssen schon in's griechische Altertum zurückgreifen, wenn wir die wichtigsten Etappen der Wandlungen in der Auffassung eines der fundamentalsten Begriffe der Naturforschung, desjenigen der Kraft, feststellen und das Wesentliche der Operationen charakterisieren wollen, die mit demselben vorgenommen wurden. Im Altertum wurde Kraft durchaus nur aufgefasst als Druck, etwa wie der Druck aus der Schwere auf die Unterlage. Mit diesem Begriff hat Archimedes das Gesetz begründet, welches zum Ausgangspunkt weiterer Gesetze geworden ist, deren Gesamtheit die Statik ausmacht, das Hebelgesetz. Es muss betont werden, dass nicht die Auffindung dieses einfachen Gesetzes, das seit Menschengedenken angewendet wurde, sondern die Art seiner Begründung, der Beweis seiner Richtigkeit, Archimedes zum Begründer der Statik gemacht hat. Dieser Beweis besteht in der Ableitung des Gesetzes aus einem Prinzip, das keines Beweises mehr bedarf, eines Axioms, nämlich aus der evidenten Gültigkeit des Gesetzes für den zweiarmigen, gleicharmigen Hebel. Dass beim geraden, zweiarmigen, gleicharmigen Hebel Gleichgewicht vorhanden ist, wenn die Gewichte gleich sind, sich also verhalten wie die Hebelarme, bedarf keines empirischen Nachweises, sondern folgt aus unserm Unterscheidungsvermögen, der Denkkategorie, von Gleichsein und Ungleichsein. Wenn Hebelarme und Lasten gleich sind, dann kann keine Bewegung eintreten, weil eben mit der Bewegung im Sinne der Wirkung einer der beiden Kräfte das Gleichsein aufgehoben wäre. Ist dies zugegeben, dann kann nach Archimedes oder auf Grund von ähnlichen Ueberlegungen, mit denen sich Huyghens beschäftigte, ohne Zuhilfenahme irgendwelcher Erfahrungssätze, also auf

rein aprioristischer Grundlage die Gültigkeit des Gesetzes für den ungleicharmigen Hebel und den Winkelhebel dargethan werden.

Das Typische und Bedeutsame dieser Beweisführung, was dieselbe zum Paradigma für die Begründung physikalischer Gesetze auf Jahrhunderte hinaus gemacht hat, besteht in der Feststellung, dass dem Gesetz nicht nur thatsächliche Gültigkeit zukommt, sondern notwendige, d. h. eine in den Denkgesetzen begründete. Nach dem Vorbild dieser Archimedischen Argumentation sind späterhin andere physikalische Gesetze bewiesen, d. h. auf aprioristische Grundlage gestellt worden, so das Princip der virtuellen Verrückungen von Lagrange, der Parallelogrammsatz durch Poisson und andere.

Um den Parallelogrammsatz zu beweisen, geht Poisson aus von der unmittelbaren d. h. nicht empirischen Evidenz des Satzes für 3 gleiche, in einer Ebene gelegene Kräfte, deren Richtungen gleiche Winkel mit einander bilden. Der Punkt kann in diesem Fall nicht einer einzelnen der drei Kräfte folgen, weil ja sonst diese eine Kraft vor den andern ausgezeichnet, von ihnen verschieden wäre. Jede der 3 Kräfte ist also aufgehoben durch eine, mit ihr gleich und entgegengesetzt gerichtete Kraft, welche aus geometrischen Gründen sich in graphischer Darstellung als Diagonale der beiden andern erweist. Ausgehend von diesem Prinzip leitet Poisson dann ohne Zuhilfenahme irgend welcher Erfahrungsthatsachen den Parallelogrammsatz für ungleiche, irgendwie beschaffene Kräfte ab, die an einem Punkt wirken.

2.

Eine gründliche Umänderung und Erweiterung hat der alte Kraftbegriff erfahren durch Galilei, den Begründer der Dynamik. Er hatte aus der unendlichen Komplexität der Bewegungserscheinungen heraus das einfache Gesetz erkannt, dass Körper ihren Zustand der Bewegung oder Ruhe nicht von selbst ändern können, d. h. nicht ohne Einwirkung von Ursachen, welche ausserhalb ihrer gelegen sind. Diese, Aenderungen von Bewegungen hervorrufenden, Ursachen nennt man seit Galilei Kräfte, und es ergab sich aus diesem Begriff der Kraft auch ein einfaches Mass derselben, indem man sie ihrer Wirkung, d. h. der Grösse der durch sie hervorgerufenen Bewegungsänderung, der Beschleunigung, proportional setzte; dass sie ausserdem der Masse, also dem Produkt aus Masse in Acceleration proportional ist, ergibt sich einfach aus der additiven Zusammenlegung von mehreren gleichen Kräften. Mit diesem Galileischen Kraftbegriff hat die Naturforschung bis heute operiert, mit demselben eine ungeheure Fülle neuer Erkenntnisse gewonnen, und es ist gebräuchlich geworden, unter Erklärung von Naturerscheinungen zu verstehen den Nachweis von Kräften, welche sie bewirken. Der Galileische Kraftbegriff ist auch in erkenntnistheoretischer Beziehung bedeutsam, indem er bis in die neueste Zeit als der unmittelbarste Ausdruck des Causalitätsgesetzes betrachtet wird, des Prinzips, welches aussagt, dass jedes Phänomen in der Natur vorausgeht oder folgt einem bestimmten andern Phänomen, mit welchem es notwendig, also nicht nur thatsächlich, als Ursache oder Folge verbunden ist. Kräfte sind danach notwendige Voraussetzungen von Bewegungsänderungen,

letztes Ziel der Naturforschung also die Angabe von Kräften (da in letzter Instanz alle Aenderungen in der Natur Bewegungsänderungen sind).

Nicht minder bedeutsam als die Aufstellung des Kraftbegriffes selbst durch Galilei wurde in der Folgezeit sein Nachweis einer wichtigen Eigenschaft derjenigen Kraft, mit welcher er sich hauptsächlich beschäftigte, der Schwere. Diese Eigenschaft besteht darin, dass die Wirkung der Kraft, d. h. die Beschleunigung, die sie hervorbringt, unabhängig ist vom bestehenden Bewegungszustand; es ergibt sich daraus, zusammen mit dem Inertiegesetz, dass eine konstant wirkende Kraft eine gleichförmig beschleunigte Bewegung hervorbringt, wie sie von Galilei im freien Fall nachgewiesen wurde. Das Bedeutungsvolle dieser Feststellung besteht darin, dass für Kräfte, welche die genannte Eigenschaft haben, sich als reine mathematische Konsequenz (Möglichkeit der Bildung von Zeitintegralen) das Prinzip der lebendigen Kräfte, in seiner Verallgemeinerung das Prinzip der Erhaltung der Energie ergibt.

Die Zahl der Bewegungserscheinungen in der Natur, bei welchen die beschleunigende Wirkung nachweisbarer Kräfte unabhängig ist vom bestehenden Bewegungszustand, ist bekanntlich eine verschwindend kleine; fast immer erweisen sich die Beschleunigungen anscheinend einfacher Kräfte abhängig von der momentanen Geschwindigkeit; man pflegt dieser Thatsache Ausdruck zu geben, indem man sagt, die Bewegungen gehen mit Reibung vor sich. Für dieselben ist das Prinzip der lebendigen Kräfte nicht unmittelbar anwendbar. Dies macht es erklärlich, warum Jahrhunderte lang das

Prinzip der Erhaltung der Energie, das sich doch aus dem Kraftbegriff rein mathematisch ergibt, als rein ideales und nur in wenigen Fällen als Erklärungsprinzip verwendbares betrachtet wurde. Seitdem dann die Untersuchung der Reibungsvorgänge selber Wärme als eine Energieform hat erkennen lassen und der erste Hauptsatz der Wärmetheorie aufgestellt war, gilt das Energieprinzip als allgemein gültig und hat sich als Ausgangspunkt der Interpretation von Naturphänomenen als so fruchtbar erwiesen, dass heutzutage vielfach die Neigung herrscht, dasselbe als einziges, letztes Erklärungsprinzip auf dem Gebiete der Naturforschung anzusprechen; der Zusammenhang mit dem Kraftbegriff zeigt aber doch wohl deutlich, dass es lediglich Sache mathematischer Konvenienz ist, ob man bei der Interpretation von Bewegungsphänomenen als Ausgangspunkt Betrachtungen über Kräfte oder Energien zu wählen hat.[1])

---

[1]) Wegen seiner Allgemeingültigkeit wird das Prinzip der Erhaltung der Energie auf jedes Phänomen anwendbar sein und einen ersten Aufschluss über den Zusammenhang von Erscheinungen geben; der Nachweis und die Wirkungsweise von Kräften wird dagegen erst möglich, wenn letztere erraten werden können, und ihre Verknüpfung nicht zu kompliziert ist (moleculare Wirkungen im Innern von Körpern z. B.) um der Analyse zugänglich zu sein. Neumann hat die Inductionsgesetze abgeleitet aus der nicht ganz einfachen Betrachtung von Kräften und ist zur Aufstellung seines Potentialsatzes geführt worden. Nachdem dann die Allgemeingültigkeit des Energieprinzips festgestellt war, haben Helmholtz und Thomson die Existenz und die Gesetze der Induktion einfacher aus energetischen Ueberlegungen wie jetzt gebräuchlich ist, abzuleiten gelehrt. In der Hydrodynamik können die sämtlichen, auf einen bewegten Punkt wirkenden Kräfte nicht, wohl aber etwa Energieänderungen, welche Configurationsänderungen entsprechen angegeben werden.

3.

Eine der bedeutsamsten Ausgestaltungen hat der Kraftbegriff erfahren durch Newton, der uns den Begriff des Kraftcentrums, der Kraftursache gegeben und das Gesetz, nach welchem Kräfte mit diesen Kraftursachen zusammenhängen. Bekanntlich sind durch dies Newtonsche Kraftgesetz unsere physikalischen Kenntnisse so umfassend und allseitig erweitert und vertieft worden, wie durch kein anderes Gesetz, und es ist daher wohl begreiflich, dass nach Newton als letztes Ziel der Naturforschung betrachtet wurde der Nachweis von Kraftcentren, durch deren Vorhandensein und Wirksamkeit die Naturerscheinungen ihre Erklärung finden sollten. Es ist ja denn auch gelungen durch die Gesetze von Coulomb und Ampère, die das Newtonsche zum Vorbild hatten, auf den Gebieten der Elektrizität und des Magnetismus in ähnlicher Weise Licht, Klarheit und Uebersichtlichkeit zu verbreiten, wie auf dem der Gravitation. Als höchsten Triumph der Newtonschen Betrachtungsweise dürfen wir wohl ansehen die Aufstellung eines dem Newtonschen ähnlichen, aber ausser den Distanzen noch deren erste und zweite Derivirten nach der Zeit enthaltenden Gesetzes durch W. Weber, durch welches in einer einfachen Formel die Erscheinungen der Elektrostatik, des Magnetismus, des Elektromagnetismus und der Elektrodynamik, einschliesslich der Induktion ihre Interpretation finden.

Es ist zwar nicht gelungen, die Erscheinungen der Molekularwirkungen und die chemischen Erscheinungen durch den Newtonschen ähnliche Kräfte zu interpretieren; aber man konnte der Ansicht sein, dass nur der Mangel mathematischer Hülfsmittel daran schuld sei,

indem durch die Vielheit von Kraftzentren, welche innerhalb endlich ausgedehnter Körper auf einander wirken, der Analyse komplizierte Aufgaben gestellt sind, gegen welche das Problem der drei Körper einfach ist. Gerade diese Phänomene geben ein Beispiel davon, dass, wo die direkte Analyse wirkender Kräfte uns im Stiche lässt, das aus dem Kraftbegriff abgeleitete Energieprinzip uns doch einen ersten Aufschluss über zusammengehörige Phänomene geben kann.

Auch die Methodik physikalischer Forschung hat durch Newtons Begriff der Centralkraft eine bedeutsame Umgestaltung erfahren, indem durch die Begründung der Potentialtheorie durch Laplace, Poisson, Green, Gauss etc. das ganze Gebiet der Wirkung von Centralkräften in einfacher und übersichtlicher Weise zur Darstellung gebracht worden ist. Die Durchführung dieser Theorie und namentlich die Verbindung derselben mit dem Prinzip der Erhaltung der Energie in seiner verallgemeinerten Fassung mussten zu der Ueberzeugung führen, dass mit dem Begriff der Centralkräfte auf alle Zeiten die Grundlagen, die Begriffe, mit denen die Naturerklärung zu operieren habe, festgelegt seien, und es hat denn auch vor nicht viel mehr als 30 Jahren Riemann den Ausspruch gethan, dass, was Grundbegriffe der Naturerklärung anbetrifft, wir nicht über Newton hinausgekommen seien. *)

*) Dieser Ausspruch ist um so beachtenswerter, als er herrührt von einem der eminenten Mathematiker, Riemann, welche die Umgestaltung der Grundbegriffe der Physik auf dem richtigen Wege suchten, nämlich dem, der durch die Bemerkung von Gauss[1]) vorgezeichnet war, dass er es als Schlussstein der elektrodynamischen Theorien betrachte, sich eine konstruierbare Vorstellung zu machen von der Art, wie die nicht instantanen, sondern in der Zeit (wie beim Licht) sich vollziehenden Wirkungen sich fortpflanzen. Eine lucide Zusammenstellung

1) Gauss Werke V Cap. 23 p. 427.

Heutzutage ist dieser Satz nicht mehr richtig. Ehe ich auf die fundamentalen Wandlungen eingehe, welche der Kraftbegriff in letzter Zeit erfahren, habe ich zunächst das Wesentliche in der Auffassung von Kraftwirkungen festzustellen, wie sie sich seit Newton herausgestellt hat. Die Newtonschen Kräfte wurden aufgefasst als unvermittelte Fernewirkungen, actiones in distans; d. h. zwei Körper wirken aufeinander in der geraden Verbindungslinie kraft dessen, dass sie gleichzeitig vorhanden sind und ohne Vermittlung durch irgendwelche Verbindungen, anderer Körper z. B.; ein Körper bewirkt also keine Veränderung im umgebenden Raum, wenn in demselben nicht andere Körper vorhanden sind, welche Wirkung erfahren und ihrerseits auf ihn ausüben. Newton selber war der Ansicht, dass die Wirkung von Materie auf Materie, ohne Vermittlung materieller Natur, eigentlich nur mit geistigen Hinneigungen vergleichbar sei und erklärte, dass es für einen vernünftigen Menschenverstand unbegreiflich sei, dass ein Körper da wirken könne, wo er nicht sei; diese Bemerkung fand aber später keine Beachtung mehr.

---

und Kritik der Bestrebungen seitens der Mathematiker, der Gauss'schen Forderung zu genügen, findet sich bei Maxwell[2]), welcher in Faradays, in schlichter Form und Sprache sich gebenden Untersuchungen und Vorstellungen die Lösung des von den Mathematikern gestellten Problems erkannte und durch die Verbindung beider Standpunkte die neue Anschauung zur Anerkennung brachte.

2) Maxwell, treatise II p. 435.

4.

Eine von dieser Vorstellung unvermittelter Fernewirkung gänzlich verschiedene Auffassung von Kraftwirkung ist durch eine ganze grosse Lebensarbeit kultiviert worden von Faraday, und diese Auffassung ist schliesslich sieghaft durchgedrungen, wesentlich durch die konsequent und genial durchgeführten Forschungen von Maxwell und Hertz.

Faradays Vorstellungen sind eng verknüpft mit seiner Methode, magnetische und elektrische Kräfte zu untersuchen; zu dem Zweck beobachtete er die Orientierung kleiner Teilchen, auf welche die Wirkung ausgeübt wird, z. B. die Orientierung von auf Schirmen zerstreuten Eisenfeilspänen in der Nähe von Magneten oder Strömen. Dieselben gruppieren sich mit ihren Längsrichtungen je in die Kraftrichtungen und bilden so Ketten oder Schnüre, welche im allgemeinen krummlinig von einem wirkenden Körper, z. B. Pol, zum andern verlaufen und so den sogenannten Kraftlinienverlauf erkennen lassen. Die magnetischen Kraftlinien sind immer geschlossene Kurven, die von elektrischen Körpern ausgehenden verlaufen im allgemeinen krummlinig von Leiter zu Leiter, wo sie endigen. Man könnte nun der Meinung sein, diese Faraday'schen Kraftlinienbilder seien mit der Vorstellung unvermittelter Fernewirkung vereinbar, indem sie nichts weiteres seien, als Indicatoren der Richtung der resultierenden elektrischen oder magnetischen Fernkräfte, an jeder Stelle des Raumes, ein einfaches Mittel, die Richtung der Resultierenden unvermittelter Wirkung zu markieren. Aber für Faraday haben diese Linien reale Existenz. Längs derselben

findet die Uebertragung von Kräften von Körper zu Körper statt, die Uebertragung oder — in Faradays Sinne — Fortpflanzung geht also längs krummer Bahnen vor sich, während die alte Theorie nur eine geradlinige Kraftwirkung kennt. Die wirkenden Körper wirken zunächst auf das angrenzende Medium, das durch sie in charakteristischer Weise verändert wird. Um z. B. die Anziehung ungleichnamiger Pole oder Elektrizitäten zu verstehen, macht man die Annahme, dass längs der Kraftlinien eine Zugwirkung im Medium besteht, sodass die Kraftlinien sich zu verkürzen suchen. Senkrecht zu diesen Linien haben wir Druckwirkungen anzunehmen, gerade wie wenn die Kraftlinien sich zu verkürzen und dabei zu verdicken bestrebt wären. Wenn zwei entgegengesetzt elektrisierte Körper sich anziehen, so hat dies seinen Grund darin, dass im Medium zwischen ihnen diese Zug- und Druckspannungen sich ausgebildet haben, nicht darin, dass die „Elektrizitäten“ auf einander wirken. Wenn dem so ist, so ist zu erwarten, dass die Wirkung von zwei Körpern auf einander abhängig sei von der Natur des zwischenliegenden Mediums, und eine solche Abhängigkeit hat Faraday nachgewiesen. Man kann heute leicht zeigen, dass zwei geladene Leiter sich mit doppelter, drei-, vierfacher Kraft anziehen oder abstossen, je nachdem sich Ebonit, Harz, Glas, Glimmer zwischen ihnen befindet; ja durch Wasser ist die Wirkung caet. par. 80mal kleiner als durch Luft. Aehnlich verhält sich's mit magnetischen Kräften; durch Eisen sind sie caet. par. viel tausendmal kleiner als durch Luft, durch Bi dagegen grösser. Jede Kraftwirkung ist danach nicht nur abhängig von den Körpern, von denen sie ausgeht, sondern wesentlich auch von dem Medium, in welchem sie sich vollzieht (auch bei der Gravitation). Nach diesen

Erfahrungen ist es eine naheliegende Induktion, eine solche Beeinflussung, also wohl Uebertragung der Kraftwirkung, auch dann anzunehmen, wenn zwischen den sog. wirkenden Massen sich keine „materiellen“ Medien befinden. In diesem Falle muss dann der Mechanismus der Kraftwirkung zugeschrieben werden demjenigen Medium, von dem wir annehmen, dass es jeglichen Raum erfüllt, dem Lichtäther.

Faradays Vorstellungen der durch elastische Medien vermittelten Kraftübertragung sind später in analytische Form gebracht worden durch Maxwell, dessen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes als Maxwell'sche Theorie bezeichnet werden. Aus diesen Gleichungen ergeben sich merkwürdige Beziehungen zwischen optischen und rein elektrischen Konstanten isolierender Substanzen, welche durch die alten Vorstellungen der unvermittelten actio in distans niemals verständlich geworden wären. Es soll z. B. die Quadratwurzel aus der Dielektrizitätskonstante eines Isolators gleich dem Brechungsindex sein. Die thatsächliche Existenz dieser Beziehung ist schon in vielen Fällen erwiesen, und es wird den Modifikationen dieser Verhältnisse durch Dispersion und Absorption jetzt eifrig nachgeforscht. Dass das Verhältnis elektrostatischer und dynamischer Strommasse gleich der Lichtgeschwindigkeit ist, Kerr's Phänomen, der Zeemann-Effekt, sind weitere Beispiele von elektrischen und optischen Erscheinungen, zu welchen die neuen Vorstellungen führten.

Beziehungen zwischen optischen und elektrischen Erscheinungen werden im Lichte der neuen Theorie leicht verständlich. Licht besteht aus regelmässigen elastischen Schwingungen sehr grosser Frequenz, welche

sich im Aether mit der grossen Geschwindigkeit von 300,000 km fortpflanzen. Wenn elektrische Kräfte auch durch den Aether als elastisches Medium fortgepflanzt werden, dann müssen auch elektrische Gleichgewichtsstörungen mit dieser gleichen Geschwindigkeit fortgepflanzt werden. Wie nun einige oder wenige einzelne optische Schwingungen kaum genügende Wirkung ausüben würden, um beobachtbar zu werden, wohl aber, wenn ihrer mehrere Billionen pro Sekunde regelmässig aufeinander folgen, wie dies thatsächlich immer der Fall ist, so ist zu erwarten, dass auch die Fortpflanzung elektrischer Gleichgewichtsstörungen erst dann der Beobachtung zugänglich werden kann, wenn es gelingt, freie elektrische Gleichgewichtsstörungen von genügender Amplitude, Frequenz und Zahl der aufeinander folgenden zu erregen. Es ist das Verdienst von Hertz, so schnelle und regelmässige elektrische Schwingungen erregt und gehandhabt zu haben, wie sie zu derartigen Beobachtungen nötig sind, und es ist von Hertz gezeigt worden auf Grund von Interferenzbeobachtungen, dass thatsächlich elektrische Schwingungen sich im freien Raume mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen wie das Licht, und dass die Erscheinungen der Reflexion, Brechung, Interferenz, Polarisation für beide Erscheinungsgebiete identisch sind. Die elektrischen Wellen, mit denen wir heute operieren können, sind etwa 10 bis 100,000 mal länger als die optischen, für unser Auge deshalb nicht mehr wahrnehmbar, und sie unterscheiden sich von den letztern namentlich dadurch, dass sie nicht so leicht in materiellen Körpern absorbiert werden wie Licht. Ausser durch Metalle gehen sie durch die meisten Substanzen fast ungeschwächt hindurch. Sie wissen, dass diese elektrischen Wellen neben der optischen Telegraphie

die viel wirksamere, weiter tragende elektrische Telegraphie ohne Draht ermöglicht haben.

Alle die erwähnten Errungenschaften der letzten paar Dezennien haben zu der Ueberzeugung geführt, dass wir Kräfte, auch solche nicht elektrischer Natur, nun nicht mehr auffassen dürfen als unvermittelte Fernewirkungen, sondern als von Teil zu Teil übertragene, und so hat denn der Newton'sche Ausspruch, dass es für menschliches Denken unverständlich sei, wie ein Körper da wirken könne, wo er nicht sei, 200 Jahre, nachdem er gethan worden, Verständnis und seine Interpretation gefunden.

5.

Haben unsere Vorstellungen über den Kraftbegriff gründliche Aenderung erfahren in den letzten Dezennien, so sind während dieser Zeit unsere Anschauungen über die Natur physikalischer Erkenntnisse auch nicht unverändert geblieben. Im Jahre 1876 gab Kirchhoff die Vorlesungen über mathematische Physik heraus, als ersten Teil die Mechanik, ein seither berühmt gewordenes Werk. Der erste Satz des Buches lautet: „Als Aufgabe der Mechanik bezeichnen wir: die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben".

Dieser Satz ist vielfach nicht verstanden oder missverstanden worden, ja, man konnte die Meinung äussern hören, Kirchhoff hätte sich wohl kaum so weit mit erkenntnistheoretischen Fragen beschäftigt, um sich der Tragweite des markierten Standpunktes bewusst zu sein. Dieser Standpunkt ist allerdings ein revolutionärer

aber er ist durch das ganze Buch konsequent festgehalten. Man war gewohnt gewesen, die Physik und namentlich die Mechanik nicht als beschreibende, sondern als erklärende Wissenschaften hinzustellen, d. h. als solche, welche ihre Gesetze nicht bloss als empirische, als thatsächlich bestehende hinstellen, sondern als solche, die sich notwendig und unbedingt ergeben aus den Gesetzen des Denkens, namentlich dem Kausalitätsgesetze. Es wurde als ein Herabsteigen von der stolzen Höhe der exakten Wissenschaften betrachtet, wenn denselben nur noch die Rolle zugewiesen werden sollte, thatsächlich vorkommende Phänomene, in letzter Instanz Bewegungserscheinungen, vollständig zu beschreiben.

Kirchhoffs Ansichten über den Grad der Gewissheit physikalischer Gesetze lässt sich schon erkennen gelegentlich seiner Begründung des Satzes vom Verhältnis des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen, welcher so folgewichtig geworden ist in der Spektralanalyse. Er hatte für die Wahrscheinlichkeit, dass die Coincidenz von 60 Emissionslinien des Eisens mit eben so viel Frauenhofer'schen Linien des Sonnenspektrums auf Zufall beruhe, die Grösse $^1/_{10^{17}}$ ausgerechnet und daraus den Schluss gezogen, dass die Interpretation, welche er für die Natur der Frauenhofer'schen Linien angab, an Gewissheit grenze. Damit war als Massstab für die Zulässigkeit eines Gesetzes möglichst grosse Wahrscheinlichkeit seiner Gültigkeit aufgestellt (aber nicht eine sog. „Gewissheit"). In voller Schärfe ist Kirchhoffs Standpunkt gekennzeichnet in seiner Auffassung und Definition von Kraft und Materie. Indem die alte Mechanik Kraft definierte als Ursache von Bewegungsänderungen der Materie, war zwischen diesen Begriffen ein Dualismus geschaffen, welcher vielfache Diskussionen

darüber veranlasste, was von beiden als das primär Existierende anzusehen sei, die Materie, welcher als Eigenschaft Kraftwirkungen zukommen, oder die Kraft, deren Konzentration in Centren die Existenz von Materie ausmachen könnte, oder ob beiden gleichwertige Wesenheit zukomme. Kirchhoff hat derartige metaphysische Betrachtungen umgangen, überflüssig gemacht durch präzise und für die analytische Verwertung hinreichende Definitionen der beiden Begriffe. Die Verschiedenheit dieser Definition von den frühern ist eine so fundamentale, dass man von Abschaffung von Kraft und Materie im alten Sinne sprechen kann.

Kirchhoffs Mechanik stellt sich dar als die Lehre von der Bewegung materieller Punkte: Sie operiert mit rein kinematischen Begriffen, da sie ihre Aufgabe als gelöst erachtet, wenn für jede Zeit der Ort jedes Punktes eines betrachteten Systems angegeben ist. Als Kräfte werden definiert die Bewegungsänderungen materieller Punkte pro Zeiteinheit, die Accelerationen, also diese selbst, das thatsächlich beobachtbar Vorhandene, nicht eine unbekannte Ursache dieser Veränderungen. Der Gedankengang, der zu dieser Auffassung führt, ist etwa folgender: Wenn wir bei der Untersuchung von Naturphänomenen den Zusammenhang von Erscheinungen, die als Wirkung und Ursache mit einander notwendig verknüpft zu sein scheinen, durch ganze Ketten rückwärts bis zu den letzten „Ursachen“ verfolgen, so treffen wir auf „Kräfte“ als Ursachen von Bewegungsänderungen; jedenfalls hat es die Mechanik vornehmlich mit diesen zu thun. Aber gerade das Requisit der notwendigen Verknüpfung dieser letzten Ursachen mit ihren Wirkungen bleibt uns vollständig unverständlich. Dass ein Körper,

kraft dessen, dass er vorhanden ist, den Bewegungszustand eines andern ändert, dass er z. B. Gravitation ausübt, ist für uns nichts weiter als eine brutale Thatsache und hat bisher unserm Verständnis weder durch Fernewirkungs- noch durch Nahewirkungstheorien nahe gebracht werden können. Es ist also nicht eine Denknotwendigkeit, dass Materie Gravitation ausübt; das muss für uns nicht so sein, es ist uns im Gegenteil unverständlich. Ebenso verhält sich's mit andern „Kräften", elektrischen oder magnetischen. Am besten könnte die Thatsache, dass ein Körper den Ort eines andern, seinen Bewegungszustand, beeinflussen könne, durch den Vorgang des Stosses verständlich gemacht werden. Danach bestünden Kräfte in der Uebertragung von Bewegungen von Körper zu Körper. Aber wenn wir uns tiefer in diesen Vorgang hineindenken, so stossen wir auf neue Rätsel, wie die Undurchdringlichkeit oder die unbedingte Härte, denen wir auch nicht mehr als die Qualität der blossen Thatsächlichkeit beilegen können. Der Kirchhoff'sche Standpunkt ist übrigens nicht so sehr ausser Zusammenhang mit den Ansichten früherer Zeiten, vielmehr die strenge Formulierung und Durchführung berühmt gewordener Aussprüche. Die Sentenz am Schlusse von Newtons principia: „Hypotheses non fingo" ist dahin zu deuten, dass Newton selber seinem berühmten Prinzipe die Bedeutung eines empirischen Gesetzes beilegte. Ganz deutlich kommt Kirchhoffs Standpunkt zum Ausdruck in dem Satze, welcher dem berühmten Buche Fouriers vorangestellt ist: „Les causes primordiales ne nous sont point connues; mais elles sont assujetties à des lois simples et constantes que l'on peut découvrir par l'observation et dont l'étude est l'objet de la philosophie naturelle".

Dieser Satz ist auch der „treatise on natural philosophy“ von Thomson und Tait vorangestellt. Ein beredtes Beispiel der Verzichtleistung auf das Begreifen letzter Ursachen gibt uns aus neuerer Zeit Hertz, wenn er, gelegentlich der Aufstellung der Grundgleichungen der Elektrodynamik [1]), sagt: „Nachdem diese Gleichungen einmal gefunden sind, erscheint es nicht mehr zweckmässig, dieselben aus Vermutungen über die elektrische und magnetische Konstitution des Aethers und das Wesen der wirkenden Kräfte, als wären dies bekanntere Dinge, herzuleiten“.

Die Massen definiert Kirchhoff als Faktoren in den Bedingungsgleichungen, welchen die Bewegungen von Punkten in zusammengesetzten Punktsystemen unterworfen sind. Es ist noch beachtenswert, dass dabei zunächst die Frage offen gelassen ist, ob diese Faktoren Konstanten seien oder nicht, ob also der Satz von der Erhaltung der Materie seine Richtigkeit habe oder nicht. Entsprechend dem heutigen Stande unserer empirischen Erkenntnisse wird dann allerdings in den spätern Entwicklungen die Annahme festgehalten, dass diese Faktoren wirklich konstant seien und dem weitern Fortgang der Wissenschaft die Entscheidung darüber überlassen, ob die Bewegungsgleichungen nach dieser Richtung zu verallgemeinern seien oder nicht.

Der Kirchhoff'sche Kraftbegriff hat also mit dem Kausalitätsgesetze nichts zu thun, weil ja gerade die letzten „Ursachen“, die Kräfte als solche, uns unverständlich sind; sie sind, als Eigenschaften der Materie, aus welchen wir auf diese schliessen, gerade so unverständlich, wie die Existenz der Materie. Die Frage,

[1]) Hertz' Werke, II p. 214.

ob die Naturphänomene mit Notwendigkeit erfolgen, d. h. nur solche sein können, wie sie sind, oder ob sie anders sein könnten, spielt hier keine Rolle mehr, da nur das thatsächliche Geschehen wiedergeben, beschrieben werden soll. Und wie die Frage nach dem Ursprung des Kausalitätsprinzips (aus reiner Vernunft oder Erfahrung) und dessen Tragweite aus der Mechanik eliminiert ist, so sind auch die Fragen nach der Natur des „Dings an sich", der Materie, durch die Kirchhoff'sche Definition derselben gegenstandslos geworden. Es wäre eine Verkennung des Kirchhoff'schen Standpunktes, die ganze Naturforschung als „Beschreibung" von Erscheinungen erklären zu wollen. Das Kausalitätsbedürfnis als treibendes Prinzip lässt uns in unzähligen Fällen für gegebene Phänomene wenigstens zureichende „Gründe" angeben; die letzten Gründe, die Gründe von Kraftäusserungen, kennen wir nicht.

Gewiss drängt sich uns nun die Frage auf, ob der Standpunkt der modernen Mechanik ein Herabsteigen bedeute von der stolzen Höhe eines Aufbaues notwendiger Verknüpfung von Erscheinungen. Dies ist doch wohl kaum der Fall. Denn etwas Gewisseres als die Thatsächlichkeit, auf die sich die Mechanik beschränkt, gibt es nicht. Der neue Standpunkt verhindert uns, in Gebiete hineinzustreben, welche ausserhalb der Wirklichkeit gelegen sind, oder, mathematisch gesprochen: er nötigt uns, wenn wir extrapolieren, uns dessen bewusst zu sein und es nicht ohne Kontrolle zu thun.

Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, muss betont werden, dass wir im Ausbau der Wissenschaften auf die Anwendung allgemeiner Prinzipien angewiesen sind, wenn wir über den Kreis des momentanen wissenschaftlichen Besitzstandes hinauskommen,

und zu Erkenntnissen gelangen sollen, welche uns die reine Empirie nur schwer oder nie erreichen liesse. Der Satz von der Konstanz der Materie, das Prinzip der Erhaltung der Energie, der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie, die Aetherhypothese etc. haben den Fortschritt der Wissenschaft wohl mehr gefördert, als die reine Beschreibung von Erfahrungen es hätte thun können. Aber wir müssen uns dessen bewusst bleiben, dass wir diese allgemeinen Prinzipien aufgeben oder abändern oder verallgemeinern müssen, wenn Phänomene festgestellt werden sollten, welche sich denselben nicht unterordnen lassen. Wir dürfen in der Bestätigung von Konsequenzen aus Theorien selbst in sehr vielen Fällen nicht einen Beweis für die unbedingte oder notwendige Richtigkeit derselben erblicken, sondern müssen selbst einer vereinzelten Thatsache den Wert eines Prüfsteines der bisher angenommenen Gewissheit beimessen. Das grossartigste Beispiel für die Richtigkeit dieser Wertschätzung der Theorien gibt uns ja die Theorie der Fernewirkungen nach Gesetzen vom Typus des Newton'schen; die Zahl der Erkenntnisse, zu welchen diese Theorie geführt hat, ist ungeheuer gross gewesen. Sie ist heute nach langem Kampfe aufgegeben, weil sie von gewissen neuern, früher nicht beachteten oder vernachlässigten Thatsachen nicht Rechenschaft geben konnte. Gerade durch diese Erfahrung und viele ähnliche sind wir davor gewarnt worden, zu prätendieren, dass wir durch Theorien die wahre Natur der Dinge erkennen können, wir werden vielmehr, um mit Maxwell einen einwurfsfreien Standpunkt gegen allgemeine Theorien zu charakterisieren, dieselben als Bilder der Natur ansehen, als mechanische Analogien, welche momentan die Gesamtheit der Erscheinungen

einheitlich zusammenzufassen vermögen und welche wir durch andere, besser passende ersetzen müssen, wenn sie den Erfahrungen nicht mehr im ganzen Umfange entsprechen (die Beschreibung durch dieselben keine zutreffende mehr ist). Die Frage, ob es uns je gelingen wird, ein vollständiges und genaues Weltbild zu schaffen, wird eine offene bleiben, weil die Bilder, durch welche wir der direkten Beobachtung unzugängliche Phänomene darzustellen suchen, mit Vorstellungen operieren, welche durch unsere Empfindungen veranlasst sind; gäbe es für uns mehr Empfindungsqualitäten, so würden unsere Vorstellungen vollständigere sein können und würden wir z. B. für das Elektrischsein ein anderes Bild haben als das, mit welchem wir operieren müssen, wenn wir diese Erscheinung an wenigen optischen, akustischen, thermischen Wirkungen fassen müssen.

6.

Ein lehrreiches Beispiel dafür, wie rasch gelegentlich die Bilder geändert werden müssen, durch welche wir physikalische Vorgänge zum Ausdruck zu bringen, zu umschreiben versuchen, zeigt uns die Entwicklung der Lehre der Elektrizität und des Magnetismus. Als man anfing, sich über elektrische und magnetische Erscheinungen Rechenschaft zu geben, schrieb man dieselben, da sie doch von „etwas“ herkommen mussten, gewissen Agentien zu, die man sich unter dem Bilde von Flüssigkeiten vorstellte, da sie in den Körpern, z. B. die Elektrizität in Leitern, eine gewisse Beweglichkeit erkennen liessen; man unterschied positive und negative Fluida, oder gleichnamige und ungleichnamige, um ihren gegensätzlichen Wirkungen, Anziehungen oder Abstossungen, Rechnung zu tragen. Die magnetischen

Fluida dachte man sich zuerst frei beweglich in magnetisierbaren Substanzen, vereinigt im unmagnetischen Zustand, getrennt und um die Pole als deren Schwerpunkt konzentriert, wenn äussere gegebene Magnete auf sie einwirkten. Diese Vorstellung der freien Beweglichkeit musste aufgegeben werden, nachdem man erkannt hatte, dass der magnetische Zustand nicht von einem Körper auf einen andern übertragbar sei, dass es eine Leitfähigkeit auf magnetischem Gebiete nicht gebe. Poisson nahm nun an, dass die magnetischen Fluida nur innerhalb der Moleküle der magnetischen Substanzen bewegt werden können, z. B. durch äussere magnetische Kräfte, durch welche die elementaren Bestandteile der Substanz zu Elementarmagneten werden, und auf Grund dieser Vorstellung hat er eine mathematische Theorie des Magnetismus ausgebaut, welche ausserordentlich fruchtbar gewesen ist und viel zur Erweiterung der Potentialtheorie beigetragen hat, welche sich aus der Theorie der unvermittelten Fernewirkungen herausgebildet hatte. Man hat später, um neuen Thatsachen gerecht zu werden, auch die Annahme der Beweglichkeit der magnetischen Massen innerhalb der einzelnen Moleküle aufgeben müssen und betrachtete sie als unveränderlich mit den Molekülen verbunden, diese unveränderlichen Elementarmagnete aber unter Wirkung äusserer Kräfte drehbar, im magnetischen Zustand des Eisens z. B. regelmässig geordnet, so dass sämtliche gleichnamigen Pole, nach gleicher Seite gerichtet, im unmagnetischen Zustand derselben aber unregelmässig durcheinander liegend angenommen wurden.

Nachdem nun aber Ampère gezeigt hatte, dass magnetische Zustände durch elektrische ersetzbar seien, sodass ein Elementarmagnet bezüglich seiner Wirkung

durch einen Kreisstrom ersetzbar sei, da verwandelten sich die Elementarmagnete in Kreisströme, von denen man annahm, dass sie die materiellen Moleküle in widerstandslosen Bahnen umfliessen. Von der ursprünglichen Annahme magnetischer Flüssigkeiten war also in diesem Stadium der Theorie des Magnetismus nichts mehr übrig geblieben. Immerhin kamen magnetische Wirkungen durch unvermittelte Fernewirkungen, ausgehend von den elementaren Kreisströmen, zu stande. Die Vorstellung elektrischer Fluida hatte sich ohne erhebliche Modifikation erhalten. Elektrische Ströme stellte man sich vor als entgegengesetzte Strömungen der positiven und negativen Elektrizitäten in leitenden Körpern.

Eine gründliche Aenderung dieser Bilder, durch welche man elektrische und magnetische Erscheinungen deutete, musste eintreten, nachdem die Annahme unvermittelter Fernewirkung hatte aufgegeben werden müssen und an ihre Stelle Spannungen in dem Medium zwischen den aufeinander wirkenden Körpern getreten waren. Das Geladensein eines elektrischen Körpers bestand jetzt, um im herkömmlichen Sprachgebrauche zu verbleiben, darin, dass von demselben Kraftlinien in's umgebende Medium austraten, dessen Spannungszustände die elektrischen Kräfte ausmachten. Von elektrischen Massen oder Fluiden war keine Rede mehr, ein geladener Leiter war lediglich ein Leiter, dessen umgebendes isolierendes Medium in charakteristischer Weise modifiziert war. Es gibt zwar wahre elektrische Ladungen; das will aber nur sagen, dass elektrische Kraftlinien frei enden können.

Auch der magnetische Zustand eines Körpers wurde unter dem Bilde aufgefasst, dass aus demselben Kraftlinien austreten, die sich in die Umgebung verbreiteten

und längs welcher im Medium, das sie durchsetzen, Zugwirkung vorhanden war, während senkrecht zu diesen Druckwirkungen auftraten. Wahren Magnetismus gibt es nicht, nur scheinbaren, da, wo die Normalkomponente der magnetischen Kraft sich sprungweise ändert.

Die Vorstellung eines elektrischen Stromes hatte jetzt nichts mehr von dem Bilde eines bewegten Agens an sich, sondern sollte bestehen in der Existenz von magnetischen Kraftlinien oder Spannungen, welche ringförmig den Stromträger umschlossen und seine magnetischen Wirkungen bewirkten. Es war jetzt gebräuchlich geworden, die Lehre vom elektrischen Strome nicht mehr an die Elektrizitätslehre anzuschliessen, sondern an den Magnetismus, weil ein Strom dadurch manifest wird, dass er magnetische Kraftlinien ausbildet. Diese Darstellung ist jetzt in vielen Lehrbüchern gebräuchlich, indem man sich sagt, die Vorstellung von Kraftlinien, welche einen Draht umgeben, mit ihren einmal festgestellten Eigenschaften sei um nichts merkwürdiger als die Vorstellung eines unbekannten Dinges, der Elektrizität, deren Bewegtheit Kräfte soll ausüben können. Das Empressement, mit welchem Begriffe der alten Fernewirkungstheorie in Sprache und Lehre eliminiert werden, geht so weit, dass der Versuch gemacht wurde, die Verwendung des so ausserordentlich nützlichen Potentialbegriffs in der Lehre vom elektromagnetischen Felde zu umgehen, weil er an die alten Theorien erinnert, aus welchen er entwickelt wurde.

Fürwahr! Die Zahl derer, welche denken konnten, dass Elektrizität je wieder als etwas irgendwie Materielles angesehen werden könnte, war, vor wenigen Jahren noch, sehr gering.

Aber innerhalb der letzten zehn Jahre haben die Bilder, unter denen man sich elektrische Phänomene verständlich zu machen suchte, so rasch gewechselt, dass diese Seite der Entwicklung physikalischer Erkenntnisse allein genügt hätte, uns davor zu bewahren, an eine endgültige definitive, unveränderliche Deutung physikalischer Phänomene glauben zu wollen.

Die Erscheinungen, welche zu den letzten Kämpfen über die Natur der Elektrizität führten, lagen ursprünglich abseits derjenigen Gebiete, auf welchen die grossen prinzipiellen Auseinandersetzungen sich abspielten. Es waren die schönen, in manchen Beziehungen merkwürdigen und unverständlichen Lichterscheinungen, welche auftreten, wenn man Funken in Glasröhren durch verdünnte Gase durchschlagen lässt. Bei mässigen Drucken von ca, 0,1 bis 1 mm prävaliert das positive Licht, das oft durch Schichtung ausgezeichnet ist, bei zunehmender Verdünnung tritt es immer mehr zurück, und schliesslich bleibt sichtbar nur ein bläulicher, von der Kathode ausgehender Lichtschein zurück; die Strahlen, die ihn bewirken, werden als Kathodenstrahlen bezeichnet und fesselten immer mehr das Interesse der Physiker. Diese Kathodenstrahlen sind geradlinig, sie besitzen eine grosse Energie; sie bringen Körper, auf die sie fallen, zum Glühen und z. B. Platin zum Schmelzen; ausser dieser thermischen besitzen sie auch mechanische Energie, wodurch die Erscheinungen — als radiometrische bezeichnet — hervorgerufen werden, mit denen sich besonders Crookes beschäftigte, indem er leichte Rädchen, auf Achsen aufgestellte Flügel etc. unter Wirkung dieser Strahlen in rasche Rotation versetzte. Die auffälligste Eigenschaft dieser Strahlen war die Ablenkbarkeit durch magnetische Kräfte. Crookes war der Ansicht, um diese

Erscheinungen zu erklären, dass diese Kathodenstrahlen bestehen aus materiellen Partikeln, welche von der negativen Elektrode losgeschleudert werden und sich nun im angrenzenden, nahezu leeren Raume mit grosser Geschwindigkeit geradlinig fortbewegen und beim Aufprallen auf Körper die beobachteten Wirkungen hervorbringen. Dies war eine erste Emissionstheorie auf diesem Gebiete, für welche auch der Umstand sprach, dass Kathoden beim Gebrauche zerstäubt werden und an den benachbarten Glaswänden Metallspiegel absetzen. Auch die Eigenschaft der Kathodenstrahlen, durch den Magneten abgelenkt zu werden, ist nach alten und neuern Theorien der Elektrodynamik nicht unverständlich nach dieser Crookes'schen Emissionstheorie.

Im Laufe der 80er Jahre machte sich durch die zahlreichen Untersuchungen von Hittorf, Wiedemann, Ebert, Goldstein die Ansicht immer mehr geltend, dass die Kathodenstrahlen nichts Körperliches seien, sondern von der Natur kurzwelliger Aetherschwingungen sein müssten, etwa wie ultraviolette Lichtstrahlen, und diese Ansicht erlangte das Uebergewicht über die Emissionstheorie, nachdem sich Hertz derselben hatte anschliessen müssen auf Grund von Versuchen von durchschlagender Beweiskraft. Aus diesen Versuchen ergab sich, dass die Kathodenstrahlen nicht die Strombahn im Entladungsrohre bezeichnen, dass sie durch Metallmembranen durchgehen, durch welche keine materiellen Moleküle oder Atome durchgehen können, dass sie keine elektrischen Eigenschaften haben und nicht auf Magnete wirken. Vollends zum Siege verholfen wurde diesen Ansichten durch Arbeiten Lenards, dem es gelang, zu zeigen, dass die Kathodenstrahlen auch ausserhalb der Räume, in denen sie durch elektrische Vorgänge erregt wurden,

ihre Eigenschaften unverändert behalten, in Räumen, in die weder von der Kathode losgeschleuderte Teilchen, noch äussere elektrische Kräfte hingelangen können und dass sie sich in leeren Räumen bewegen wie Lichtstrahlen. Dies war der Stand der Frage vor etwa fünf Jahren.

Indessen war die ältere, die Emissionstheorie, nie ganz anfgegeben worden, namentlich nicht in England (J. J. Thomson) und Frankreich (Perrin). Da wurde derselben eine neue Wendung gegeben durch die Untersuchungen einiger junger Physiker (Wiechert, Des Coudres, Kaufmann), welche auf Grund von messenden Beobachtungen der Ablenkung der Kathodenstrahlen im magnetischen Felde die Frage zu beantworten suchten, welches die Eigenschaften der Kathodenpartikeln, wenn solche anzunehmen wären, sein müssten, damit die thatsächlich bestehenden Ablenkungen und ihre Gesetze sich erklären liessen. Es ist ersichtlich, dass die Grösse der Ablenkung bewegter elektrischer Partikeln im magnetischen Felde abhängig sein muss von der Stärke der ablenkenden magnetischen Kraft, von der elektrischen Ladung und von der Trägheit, d. h. der materiellen Masse der Projektile und von deren Geschwindigkeit. Das Resultat der zum Teil sehr subtilen Untersuchungen war, dass allerdings die Emissionstheorie eine mögliche Hypothese sei, nur muss sie, wie zuerst von Wiechert ausgesprochen wurde, so modifiziert werden, dass den bewegten Kathodenpartikeln Massen beigelegt werden, welche 1000 bis 2000 mal kleiner sind als die der kleinsten bekannten Atome, und sie müssen Geschwindigkeiten haben, welche vergleichbar sind mit der Lichtgeschwindigkeit.

Man hat diese Kathodenpartikeln, welche ganz aus dem Rahmen bisher bekannter sog. „Atome“ heraustreten, Substanzelemente sui generis, nämlich von höherer Ordnung der Kleinheit bedeuten, in der Folge „Elektronen“ oder „Kerne“ genannt und für dieselben nachträglich auch diejenigen Eigenschaften nachgewiesen, welche Hertz auf Grund seiner Versuche hatte leugnen müssen; man kann heutzutage leicht zeigen, dass sie elektrisch geladen sind, indem man sie Kondensatoren laden oder einen beobachtbaren Strom hervorbringen lässt.

Gelegentlich dieser Untersuchungen hat W. Wien noch die auffällige Thatsache festgestellt, dass von der Kathode nicht nur die negativ geladenen Elektroden ausgehen, sondern in entgegengesetzter Richtung mit kleineren Geschwindigkeiten (oder grösseren Massen?) positiv geladene, und dass auch von der Anode elektrisch entgegengesetzt geladene Partikeln ausgesandt werden.

Der elektrische Zustand dieser Elektronen muss jetzt offenbar wieder unter dem Bilde elektrischer Mengen — oder Fluida — aufgefasst werden, mit denen sie beladen sind, wie in der frühern, naiven alten Elektrizitätslehre, nachdem es sich zwischen hinein ätherisch verflüchtigt hatte.

Es ist begreiflich, dass die Auffindung neuer elektrischer Elementardinge, der Elektronen, zu neuen Theorien und Konstruktionen auf elektrischem Gebiete den Anstoss gegeben. Man fängt bereits an, das Stromphänomen durch die Bewegung von elektrischen Kernen zu interpretieren, und da dieselben auch Masse und damit kinetische Energie führen, so scheinen sie auch auf dem Gebiete der Wärmeleitung eine Rolle spielen

zu sollen. Haben diese neuen Konstruktionen ja doch bereits den bisher unverständlichen Parallelismus von Wärmeleitungsfähigkeit und elektrischem Leitungsvermögen dem Verständnis näher gerückt. Ja, es hat jetzt den Anschein, als ob auf die Wirkungen dieser „Kerne“, also elektrischer Massen, nicht nur die Erscheinungen elektrischer und magnetischer Art, sondern auch die der Optik und der Massenwirkungen zurückzuführen unternommen werden soll.

Ich glaube nun, dass an Hand der Geschichte der Kathodenstrahlen der Sinn der Maxwell'schen Aeusserung klar wird, dass unsere Theorien nichts weiter sind als geistige Bilder, durch die wir grössere Erscheinungsgebiete unter zusammenfassende Betrachtung bringen, dass wir aber nicht prätendieren sollen, die Dinge endgültig erkennen zu können, wie sie sind. Diese Erkenntnis ist dem Fortschritt der Wissenschaft offenbar nicht hinderlich; sie bewahrt vor starrem Festhalten am Hergebrachten; sie ermutigt zu beständiger Neukonstruktion fundamentaler Anschauungen und Vorstellungen, wenn neue, unerklärliche Thatsachen bekannt werden, und muss dazu führen, durch immer genauere und zugleich allgemeinere Zusammenfassungen Phänomene der Natur in ihrer Gesetzmässigkeit zur Darstellung zu bringen. Trotz des Wechsels grundlegender Vorstellungen können unsere Erkenntnisse beständig vermehrt und präziser gemacht werden.

Leere Seite
Blank page
Page vide