Zeitschrift: Schweizerische pädagogische Zeitschrift
Band: 18 (1908)
Heft: 4

Artikel: Die physikalische Forschung der letzten zehn Jahre
Autor: Kleiner, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-789055

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: 11.09.2025

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

Die physikalische Forschung der letzten zehn Jahre.

Rektoratsrede von A. Kleiner.

Wenn ich es unternehme, einen Überblick zu geben über die Errungenschaften physikalischer Forschung gerade des letzten Dezenniums, so war bei der Wahl des Themas bestimmend einerseits der Umstand, dass die Untersuchungen der Physiker in der letzten Zeit sich wesentlich auf ein Gebiet sich konzentrierten, sodann auch der aussergewöhnliche Reichtum und die Eigenart, der zum Teil fast sensationelle Charakter der Forschungsresultate.

Die Entdeckungen, welche etwa seit dem Jahre 1895 bis heute gemacht wurden, sind so zahlreich und dabei so origineller Art gewesen, und die Konsequenzen, welche die Interpretation dieser Entdeckungen im Gefolge hatten, waren so bedeutsam, so sehr unsere bisherigen Grundvorstellungen umgestaltend, dass es wohl verständlich ist, wenn etwa die Frage auftaucht, ob je schon ein Dezennium so fruchtbarer Forschungsarbeit auf mathematisch-physikalischem Gebiete dagewesen sei.

Wenn diese Frage gestellt ist, dann steigt in der Erinnerung des Physikers die glänzende wissenschaftliche Epoche am Anfang des letzten Jahrhunderts auf, und wenn aus derselben gerade ein Dezennium zum Vergleich herausgegriffen werden soll, so könnte es etwa das der kurzen wissenschaftlichen Wirkungszeit Augustin Fresnels sein, die zwischen den Jahren 1815—1827 eingeschlossen ist. In dieser kurzen Zeit hat Fresnel die so hartnäckig seit 150 Jahren bekämpfte Undulationstheorie des Lichts zum Siege geführt, und dabei eine solche Fülle neuer Tatsachen und Gesetze bekannt gegeben, dass für die elastische Lichttheorie für den Rest des Jahrhunderts wenig zu ergänzen blieb.

In dieselbe Zeit fällt die Grundlegung einer mathematischen Theorie der elektrischen (1812) und der magnetischen (1824) Erscheinungen durch Poisson; in diese Zeit fällt das Erscheinen der „Theorie analytique de la chaleur“ (1822) von Fourier, durch welche nicht nur ein grosses

Gebiet der Wärmelehre neu begründet wurde, sondern namentlich auch die reine Mathematik eine äusserst fruchtbare und folgewichtige Erweirung erfuhr. In diesen Jahren erschien das berühmte Werk Ampères (1820—1825), die Elektrodynamik im engeren Sinn, welche mit allen grundlegenden Entdeckungen an analytischen Entwicklungen, und bis ins Detail gehend, neu geschaffen wurde. Und in die gleiche Zeit hinein fällt ja auch ein Teil der klassischen Wirksamkeit von Gauß, dessen stolzes Wort nicht nur für ihn gilt, sondern jene ganze Periode kennzeichnet, das Wort: „Nil actum reputans, si quid superesset agendum". Aber es ist nicht nur die erstaunliche Vermehrung der Erkenntnisse aus jener Zeit bewundernswert, sondern auch die Klarheit in der Erkenntnis der Ziele und der Möglichkeiten physikalischer Entwicklung, jene Geistesrichtung, welcher Newton Ausdruck gegeben in dem Ausspruch: „Hypotheses non fingo", oder welche Fourier fixierte in dem ersten Satz seines unsterblichen Werkes: „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." Ähnlich spricht sich Ampère aus. Es liegt in diesen Aussprüchen ausgedrückt die Ablehnung jeglicher Bevormundung der Physik durch die Metaphysik, die Erkennung der Grenzen physikalischen Wissens, ein Standpunkt, der fünfzig Jahre später neu errungen werden musste, und durch einen Satz von Kirchhoff in seiner Mechanik gekennzeichnet, durch Bücher Ernst Machs in Deutschland zum Gegenstand philosophischer Erörterungen gemacht wurde.

Eine Übersicht, auch nur andeutungsweise, von den Leistungen jener zehn Jahre zu geben in einem Vortrage, wäre nicht möglich, dagegen glaube ich es unternehmen zu dürfen, eine Übersicht über die wesentlichen Errungenschaften des letzten Dezenniums, etwa von 1895—1905, zu geben.

I. Röntgenstrahlen.

Die Anfänge der neuesten physikalischen Entwicklungsperiode knüpfen an Erscheinungen an, welche an sich wenig auffällig sind, an die Funkenentladungen in Gasen, welche in evakuierten, sogenannten Geisslerschen, Röhren sich besonders glänzend gestalten. Von diesen Erscheinungen hat schon vor fast 40 Jahren der weitsehende Geist von Maxwell vorausgesagt, dass sie berufen sein dürften, grosses Licht zu verbreiten über die Natur der Elektrizität, die Konstitution der Gase und das Medium im Weltenraum.

Es ist das grosse Verdienst von Hittorf aus den mannigfaltigen Eigentümlichkeiten der Funkenentladungen in evakuierten Röhren die

kapitale Erscheinung herausgeschält zu haben, welche jetzt bekannt ist unter der Bezeichnung der Kathodenstrahlen.

Es sind dies Strahlen, welche bei hochgradiger Verdünnung in Geisslerschen Röhren vom negativen Pol ausgehen; sie sind nur durch einen schwachen, bläulichen Schimmer direkt wahrnehmbar, aber ausgezeichnet durch merkwürdige Wirkungen, wie sie bisher an keinen, als solche bezeichneten Strahlen bekannt waren. Sie pflanzen sich gradlinig fort, wie Licht, sie führen so grosse Mengen Energie mit sich, dass Körper, auf welche sie treffen, zum Glühen, sogar Pt oder Ir zum Schmelzen gebracht werden; sie sind chemisch wirksam, indem sie photographisch empfindliche Substanzen schwärzen, gewisse weisse Salze blau oder gelb färben; sie bringen fluoreszierende Körper zum Leuchten; sie durchdringen undurchsichtige Körper, wie z. B. dünne Staniolblätter; Gase werden durch auffallende Kathodenstrahlen zu Leitern der Elektrizität gemacht, und besonders wichtig ist die Eigentümlichkeit dieser Strahlen, dass dieselben durch magnetische Kräfte, wie sie von Magnetpolen ausgehen, abgelenkt, gekrümmt werden, und endlich ist nach vielen erfolglosen Bemühungen erwiesen worden, dass sie, was ja zum vornherein zu erwarten war, negative elektrische Ladungen mit sich führen.

Was aber ganz besonders die Aufmerksamkeit der Welt auf die Kathodenstrahlen gezogen hat, ist die, man darf wohl sagen sensationelle Entdeckung von Röntgen, dass sie Körper, welche von ihnen getroffen werden, wie Glasgefässwände oder Platinanoden veranlassen zur Aussendung von neuen Strahlen ganz besonderer Art, von Röntgenstrahlen. Diese letztern besitzen, wie Sie wissen, ein bisher unbekanntes Durchdringungsvermögen: sie gehen durch zolldicke Bretter, durch die dicksten Bücher, durch zentimeterdicke Metallplatten, also durch Körper, welche für Licht vollkommen undurchlässig sind. Ihre intensive photographische Wirksamkeit, zusammen mit der Verschiedenheit der Absorbierbarkeit in verschiedenen Medien, hat schon in Röntgens Händen zur praktischen Verwendung geführt, nämlich zur photographischen Abbildung des Innern undurchsichtiger Körper, z. B. menschlicher Körperteile, was ja namentlich für Anatomie und Chirurgie von immer noch steigender Wichtigkeit geworden ist.

Die Entdeckung dieser Strahlen ist es, welche ich als erste grosse Errungenschaft des vergangenen Dezenniums bezeichnen möchte, sie bildet eine Epoche in der Geschichte der Physik. Die physikalische Natur dieser Strahlen, welche neben manchen Ähnlichkeiten mit den Kathodenstrahlen sich von diesen namentlich dadurch unterscheiden, dass sie keine elektrischen und magnetischen Eigenschaften

haben, hat relativ bald festgelegt werden können; es sind, wie Lichtstrahlen, Wellen im Äther, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, sich aber vom Licht dadurch unterscheiden, dass sie nicht regelmässig und mit gleichbleibender Wellenform aufeinanderfolgen; es sind vielmehr äusserst heftige und ausserordentlich kurze, unregelmässig aufeinanderfolgende, ruckartige Bewegungsimpulse, Stösse im Äther, welche auch als solche mit der bekannten grossen Geschwindigkeit des Lichtes sich fortpflanzen. Diese Unregelmässigkeit der Ätherbewegungen, die sogenannte Inkohärenz derselben, bedingt es, dass Röntgenstrahlen im Gegensatz zu Lichtstrahlen der Interferenz nicht fähig sind.

II. Elektronen.

Die intensive wissenschaftliche Beschäftigung, welche sich an Röntgens Entdeckung knüpfte, hat sofort zu einer noch bedeutenderen wissenschaftlichen Errungenschaft geführt, zur Enthüllung der Natur der Kathodenstrahlen, durch welche die Röntgenstrahlen erregt werden. Es war die Frage zu entscheiden: Sind die Kathodenstrahlen auch, wie die Röntgenstrahlen, von der Natur der Lichtstrahlen, sind es im Äther fortgepflanzte Wellen oder bestehen sie aus elektrisch geladenen Projektilen, die von der Kathode durch elektrische Kräfte fortgeschleudert werden? Folgende Überlegung hat nach langer hartnäckiger Kontroverse zur Entscheidung geführt. Wenn die Kathodenstrahlen materielle, negativ geladene, schnell bewegte Teilchen sind, so werden zunächst ihre magnetischen Eigenschaften ohne weiteres verständlich, da ihnen dann die Eigenschaften von elektrischen Strömen zukommen; sie müssen nach bekannten Grundgesetzen des Elektromagnetismus unter Wirkung magnetischer Kräfte krumme Bahnen beschreiben, deren geometrische Eigenschaften analytisch bestimmbar sind aus Stärke der ablenkenden, magnetischen Kraft, ferner aus Geschwindigkeit, materieller Masse und elektrischer Ladung der bewegten, elektrischen Teilchen, gerade so, wie die parabolische Bahn einer Kanonenkugel wesentlich bestimmt ist durch Intensität der die Richtung ändernden Schwerewirkung, Anfangsgeschwindigkeit, Masse der Kugel. Die Ausführung entsprechender Beobachtungen hat das Resultat ergeben, dass die Kathodenstrahlen im magnetischen Feld Kurven darstellen, wie die gemachte Voraussetzung und die bekannten Gesetze der Mechanik und des Elektromagnetismus sie vorausberechnen liessen, und damit ist also vorläufig entschieden, dass die Kathodenstrahlen nicht Ätherschwingungen, sondern bewegte, elektrische, materielle Körperchen sind. Die Beobachtungen von Kaufmann haben aber auch gezeigt, dass die Eigenschaften der Kathodenstrahlen nicht

abhängen von der Natur des Gases, in welchem sie erregt werden, und von der Natur des Materials der Kathoden, von denen sie ausgehen, dass sie also nicht von diesen Materialien abstammen können, sondern aus materiellen Dingen ganz besonderer Art bestehen müssen, und darüber haben wiederum die Beobachtungen Aufschluss gegeben. Bei den Messungen waren als Beobachtungsgrössen gegeben die Elektrodenspannung der verwendeten Geisslerröhren, die Stärke der ablenkenden magnetischen Kraft und die Grösse der Ablenkung von der gradlinigen Bahn, und es liessen sich daraus durch Rechnung ermitteln die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlenpartikelchen und das Verhältnis der elektrischen zu der materiellen Masse, die sie führen, diese beiden Grössen zunächst nicht getrennt. Die Geschwindigkeit ergab sich als sehr gross, nämlich von der Grössenordnung der Lichtgeschwindigkeit, etwa 100,000 km/Sek. Nicht minder überraschend war der Wert, der gefunden wurde für das Verhältnis der elektrischen Masse zu der materiellen, welche im einzelnen Kathodenteilchen verbunden sind. Dies Verhältnis ist nämlich sehr vielmal grösser, als die analoge Grösse, welche aus den Erscheinungen der Elektrolyse uns längst bekannt ist; die bei dieser Erscheinung die Strömung ausmachenden bewegten, $\pm$ elektrisch geladenen Teile sind Atome oder Atomkomplexe, sie werden Ionen genannt; das elektrochemische Äquivalent der Ionen, also der Atome, ist der reziproke Wert, der bei den Kathodenstrahlen uns interessierenden Grösse ε/μ; dieser Wert ist für Kathodenstrahlen etwa 2000mal grösser als der grösste für Ionen bekannte, der des H.

Diese Tatsache kann so gedeutet werden, dass entweder die elektrische Ladung der Kathodenteilchen sehr vielmal grösser oder die materielle Masse sehr vielmal kleiner ist als die der Ionen. Nun haben sämtliche Erfahrungen über elektrolytische Prozesse zu der Ansicht geführt, dass die Elektrizität in unveränderlicher, atomistischer Verteilung auftritt, indem sämtliche univalenten $+$ elektrischen Atome wie H, Na, Ag etc. genau das gleiche Quantum $+$ Elektrizität führen und zwar dasselbe wie andrerseits die elektronegativen Ionen von Cl, J etc., negative, bivalente Elemente führen die doppelte, trivalente die dreifache Menge, also gewissermassen 2, 3 Einheiten der Elektrizität; man nennt diese universell auftretende, unteilbare, recht eigentliche Einheit der Elektrizitätsmenge das Elementarquantum.

Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass dieses Elementarquantum auch den negativen Kathodenstrahlenteilchen zukommt, und wenn nun das Verhältnis dieser elektrischen Menge zur materiellen sehr gross sein soll, so muss angenommen werden, dass die materielle Masse, welche in den

Kathodenteilchen mit dem Elementarquantum verbunden ist, etwa 2000mal kleiner ist als die Masse des Wasserstoffatoms, also die kleinste bisher bekannt gewordene, für sich auftretende Masse. In den Kathodenstrahlenteilchen treffen wir also auf materielle Teilchen, welchen eine höhere Ordnung der Kleinheit, der Verteilung, zukommt, als den bisher angenommenen kleinsten materiellen Dingen, den chemischen Atomen. Man nennt diese Verbindung der negativen elektrischen Einheit, des negativen Elementarquantums, mit diesem neuen materiellen Elementarquantum ein Elektron.

Die Erkenntnis, dass Kathodenstrahlen aus Schwärmen von Elektronen bestehen und dass die negative Elektrizität in Gestalt von Elektronen auftritt, ist die zweite epochemachende Entdeckung, die wir dem betrachteten Dezennium verdanken. Diese negativ elektrischen Atome, die Elektronen, müssen nun irgendwie auf elektropositivem Gebiet ihr Analogon haben; denn es gilt das mathematisch strenge Gesetz, dass positive und negative Elektrizitäten immer in genau gleichen Mengen auftreten, entweder miteinander verbunden in elektrisch neutralen Gebilden, z. B. den indifferenten Molekülen, oder in gleichen Mengen, durch elektrische Kräfte getrennt, wie z. B. in den ± elektrischen Ionen elektrolytischer Substanzen. Also Frage: Gibt es nicht eine Kombination des positiven Elementarquantums verbunden mit einem ebenso kleinen materiellen Teil, wie beim Elektron? Diese Frage muss verneint werden. Man hat zwar gefunden, dass von derselben Kathode, welche Elektronen in den Kathodenstrahlen aussendet, in entgegengesetzter Richtung positive Teile ausgehen, welche die Strahlen bilden, die man Kanalstrahlen genannt hat (weil sie aus Kanälen in der Kathode austreten); aber diese positiv geladenen Elementarteilchen sind gebunden an materielle Massen, welche nicht so klein, sondern von der Grösse der Atome sind; sie sind also von der Natur der + Ionen; es ist also keine Symmetrie erkennbar im Auftreten der ± Elementarteile; die + Elektrizität zeigt, soweit bis jetzt erkennbar, keine einheitliche Struktur, wie die negative in den Elektronen.

Die Auffassung der Kathodenstrahlen als Schwärme von Elektronen, die mit grosser Geschwindigkeit von der Kathode losgeschleudert werden, macht nun zwanglos die auffälligen Wirkungen dieser Strahlen verständlich, zunächst das Auftreten von Röntgenstrahlen. Diese entstehen aus den intensiven Erschütterungen, welche das Aufprallen der Elektronen mit ihrer ungeheuren Geschwindigkeit auf materielle Teile im umgebenden Äther veranlassen. Die Wucht des Aufprallens erklärt die intensiven thermischen Wirkungen der Kathodenstrahlen. Die chemische

Wirkung ist einfach aufzufassen als ein Zerschmettern der Moleküle durch Elektronenstoss, und dieselbe Wirkung bringt es zustande, dass Gase zu Leitern der Elektrizität werden. Wenn nämlich die neutralen Moleküle eines Gases durch Elektronenstoss in ihre entgegengesetzt geladenen Teile, die Ionen, zerlegt werden, wird es zu einem Aggregat von lauter freien positiven und negativen elektrischen Bestandteilen wie ein Elektrolyt; werden dann positive und negative Elektroden angelegt, so bewegen sich die einen der vorhandenen, z. B. die negativen Teilchen, nach der +, die andern nach der negativen Elektrode, und darin besteht bekanntlich der sogenannte elektrische Strom in Elektrolyten. Es können aber auch die freien Elektronen durch Anhaften derselben an neutralen Bestandteilen sonst indifferenter Gase diesen elektrische Eigenschaften erteilen und sie leitend machen.

Aber auch die Strömung in festen Leitern, wie Metallen, hat durch den Elektronen-Begriff der Vorstellung näher gebracht werden können, nämlich als Transport von Elektrizität durch die Träger derselben, die Elektronen, und es hat die längst bekannte Gesetzmässigkeit nun ohne Schwierigkeit verständlich gemacht werden können, dass elektrisches und thermisches Leitvermögen in Metallen einander parallel gehen.

Auch über optische Erscheinungen hat der Elektronenbegriff unerwartetes Licht verbreitet. Hatte schon die elektromagnetische Theorie des Lichtes die Lichtschwingungen als elektrische Schwingungen erklärt, so werden nun als Träger der Schwingungen die Elektronen erkannt; die Zerlegung des Lichtes bei der Brechung in seine farbigen Bestandteile, die sogenannte Dispersion, wurde theoretisch fassbar; die Struktur der Spektra wird jetzt allmählich verständlich, namentlich auch die Zerlegung von Spektrallinien unter Wirkung magnetischer Kräfte in doppelte, drei-, sechs-, neunfache; es ist bemerkenswert, dass rein optische Beobachtungen nur zur Bestimmung von Konstanten der Elektronen, wie des Verhältnisses ε/μ, haben herangezogen werden können, so dass optische Phänomene das Gebäude der Elektronentheorie zu stützen geeignet sind.

III. Radioaktivität.

Wichtiger und bedeutungsvoller als die Röntgen- und Kathodenstrahlen selber sind die neuen Entdeckungen, welche sie im Gefolge hatten. Zuerst machte Bequerel 1896 die Beobachtung, dass ein Körper von der Natur eines Elements, das Uran, die natürliche Eigenschaft besitzt, Strahlen auszugeben, welche ähnliche Eigenschaften haben wie die Röntgenstrahlen, also photographisch wirksame Strahlen, welche un-

durchsichtige Körper durchdringen; es zeigte sich aber bald, dass diesen Strahlen andere beigesellt sind, solche, welche den Kathodenstrahlen und solche, welche den Kanalstrahlen verwandt sind, und in rascher Folge gelang dann den beiden Curies der Nachweis, dass das eigentümliche Emissionsvermögen des Urans in potenziertem Masse einer aus den Begleitern des Urans abscheidbaren Substanz zukomme, dem Radium, welches spektroskopisch und durch ein bestimmtes Atomgewicht, nämlich 225, als chemisches Element erwiesen wurde.

Uran, Radium und nach neuern Entdeckungen auch das Element Thor und ein Aktinium genannter Körper haben die natürliche Eigenschaft, Strahlen auszugeben, welche photographisch wirksam sind, welche undurchsichtige Körper durchdringen und welche Luft leitend machen; solche Körper nennt man radioaktiv. Unter den Strahlen, welche sie emittieren, sind drei verschiedene Arten zu unterscheiden:

1. Strahlen, welche positive Elektrizität mit sich führen und durch magnetische Kräfte abgelenkt werden wie positive Ströme; sie machen Luft sehr rasch leitend, werden von andern Körpern schon in geringen Tiefen absorbiert; diese positiven Strahlen werden α-Strahlen genannt.

2. Es kommen Strahlen vor, welche negative Elektrizität führen, welche durch magnetische Kräfte abgelenkt werden wie negative Ströme; sie ionisieren Luft auch, aber weniger intensiv als α-Strahlen; dagegen kommt ihnen grösseres Durchdringungsvermögen zu. Diese Strahlen weisen alle Eigenschaften auf, welche von Kathodenstrahlen bekannt geworden sind, sie bestehen also aus Schwärmen von Elektronen und werden β-Strahlen genannt.

3. Als ständige Begleiter der β-Strahlen, weil ja eben durch diese in der strahlenden Substanz erregt, treten Röntgenstrahlen auf, Strahlen mit dem grössten Durchdringungs- und dem kleinsten Ionisierungsvermögen und ohne elektrische oder magnetische Eigenschaften; sie werden γ-Strahlen genannt.

Das allgemeine Kennzeichen der Radioaktivität ist die Ausgabe von α-Strahlen, also von positiv elektrischen Teilchen, etwa von Atomgrösse. Neben der α-Strahlung geben dann aber Radium, Thor und Aktinium einen Körper aus, von gasförmigem Aggregatzustand, der also fortgeleitet werden kann durch Röhren, komprimierbar ist, bei tiefen Temperaturen auch kondensierbar und der seinerseits α-Strahlen ausgibt. Dies gasförmige Strahlungsprodukt wird Emanation genannt. Durch Kontakt mit Emanation werden ursprünglich indifferente Körper aktiv durch einen Vorgang, der Induktion genannt wird, und zwar scheint die induzierte Aktivität einem festen aktiven Niederschlag auf den aktivierten

Körpern zugeschrieben werden zu müssen. Die induzierte Aktivität kann ihrerseits wieder andere Körper aktivieren; aber die Strahlungen, welche die Induktionen verschiedener Ordnung veranlassen, sind verschieden; es ist namentlich zu erwähnen, dass gewisse Induktionen neben α- auch β-Strahlen, oder diese allein erregen mit den sie begleitenden γ-Strahlen. Im allgemeinen werden nun die Strahlungen verschiedener Provenienz: die α-Strahlen des primär aktiven Körpers, dann die seiner Emanation und die verschiedenen Strahlungen der sukzessiven Induktionen gleichzeitig wirksam sein, einen komplizierten Strahlungskomplex bilden, in welchem die einzelnen Bestandteile nicht ohne Schwierigkeit auseinander zu halten und einzeln zu individualisieren sind.

Die Möglichkeit, die in einer Gesamtstrahlung enthaltenen Komponenten voneinander zu unterscheiden, sie zu charakterisieren, ist gegeben durch ihre ausserordentlich verschiedene Dauer.

Alle radioaktiven Substanzen zeigen eine zeitliche Verminderung ihrer Wirksamkeit, welche durch eine Exponentialfunktion genau dargestellt werden kann; die die Schnelligkeit des Wirkungsabfallens charakterisierende Konstante in der Formel des sogenannten Abklingens hat nun für verschiedene aktive Agentien sehr weit auseinandergehende Werte, welche für die aktiven Substanzen mühsam zwar, aber schliesslich sehr genau haben gemessen werden können. Durch diese Zahl ist die Zeit bestimmt, die bis zum Abfall der Wirksamkeit auf die Hälfte verfliesst, die Halbierungskonstante, oder auch die ganze Dauer der radioaktiven Wirksamkeit, die sogenannte Lebensdauer der radioaktiven Individuen.

Es ist durch die bisherigen genauen Beobachtungen gefunden worden:

Lebensdauer des:		Es sendet aus:	Geht über in:
Ra:	2100 Jahre	α	Emanation.
Ra Emanation:	4 Tage	α	Radium A.
Ra A:	3 Minuten	α	Radium B.
Ra B:	21 „	O	Radium C.
Ra C:	28 „	$\alpha\beta\gamma$	Radium D.
Ra D:	40 Jahre	O	Radium E.
Ra E:	6 Tage	$\beta\gamma$	Radium F.
Ra F:	143 „	α	Vielleicht Blei.

Für Ur wird eine Lebensdauer von 600 Millionen Jahren, für Thor von 24 Milliarden Jahren, für dessen Emanation 54 Sekunden angegeben. Im ganzen sind bis jetzt etwa 20 aktive Körper durch ihre Abklingungskonstanten und die Natur der von ihnen ausgegebenen Strahlen charakterisiert worden.

Umwandlungstheorie.

Die Erscheinungen der Veränderlichkeit, des Abklingens radioaktiver Substanzen werden zusammenfassend zur Darstellung gebracht durch die Zerfallstheorie (Disgregationstheorie) der radioaktiven Körper, durch die Hypothese, dass dieselben durch einen Prozess der Abspaltung, der nicht durch äussere Einwirkungen veranlasst ist, also spontan, sich umwandeln in solche von andern chemischen und physikalischen Eigenschaften, im allgemeinen in Umwandlungsprodukte kleinerer Atomgrösse als die der Ausgangsmaterialien.

Am genauesten sind die Umwandlungsverhältnisse beim Radium bekannt; sie scheinen in folgender Art schematisiert werden zu können: Das Ra-Atom gibt zunächst ein α-Teilchen ab, es bleibt die Emanation zurück; diese gibt ihrerseits ein α-Teilchen ab, es bleibt Ra-A., dies geht über in Ra-B., dies ohne Strahlenabgabe in Ra-C., diese Stufe gibt $\alpha\beta\gamma$-Teilchen ab und geht über in Ra-D., welches nach 40 Jahren ohne Strahlenabgabe sich verwandelt in Ra-E., welches nur β- und γ-Strahlen abgibt und zu Ra-F. wird, Ra-F. liefert seinerseits nach 143 Tagen durch Abgabe eines α-Teilchens einen nicht mehr aktiven, ganz stabilen Körper, von welchem nach dem jetzigen Stand der Forschung die Vermutung ausgesprochen worden ist, dass er identisch sei mit Blei. Hiernach wäre also das ursprüngliche Ra-Atom umgewandelt worden in ein Atom Blei, nach fünfmaliger Abgabe je eines α-Teilchens und Ausgabe von β-Strahlen oder Elektronen. Es erhebt sich nun die Frage, was aus den abgegebenen α-Strahlen gewoden ist, oder aus was sie bestehen. Es sollen ja positiv elektrische Gebilde ungefähr von Atomgrösse sein. Darauf geben die Antwort difficile Versuche von Ramsay, welcher Ra-Emanation in Glasröhren abschloss, sie im Laufe der Zeit ganz verschwinden sah, aber nach monatelangem Warten an Stelle des ursprünglichen Emanationsgases Helium, ein kürzlich entdecktes Edelgas, nachweisen konnte, zuerst undeutlich, dann immer bestimmter und zuletzt ganz unwiderlegbar sicher; diese Beobachtungen sind von anderen bestätigt worden. Ra-Eman. liefert und geht über in He; dies macht die schon seit einiger Zeit bekannte Tatsache verständlich, dass Helium in bedeutenden Quantitäten vorkommt mit radioaktiven Materialien zusammen. Das Erscheinen von Helium an Stelle von Ra-Emanation braucht nicht als eine Verwandlung von Ra in He aufgefasst zu werden, sondern vielleicht eher so, dass das Helium entspricht oder gar zu identifizieren ist mit den die Verwandlung begleitenden α-Strahlen; danach wäre ein α-Teilchen ein Helium-Atom oder aus ihm entstanden.

Radium mit dem Atomgewicht 225 würde nach diesem einfachen Verwandlungsschema durch fünfmalige Abgabe von He. sein Atomgewicht um 5 mal 4 reduzieren, dies führt ungefähr auf das Atomgewicht (207) des Bleis.

Ganz sicher feststehend ist diese Deduktion freilich nicht; wir stehen erst am Anfang einer Chemie der Radioaktivität; das Gebiet wird aber sehr eifrig nach allen Richtungen kultiviert z. B. auch hinsichtlich der Erscheinungen an Ur, Aktinium und Thor.

Unsere Betrachtungen über die Umwandlungen des Ra wären unvollständig, wenn wir uns nicht noch folgendes klar machten. Das einzelne Ra-Atom als Individuum hat die begrenzte Lebensdauer von 2100 Jahren, und es fragt sich nun, ob diese Lebensdauer auch dem genus Ra zukommt. Wäre dies der Fall, so müsste von einer bestimmten Zeit ab das Ra in der Welt nicht mehr anzutreffen sein, und es müsste vor einem bestimmten Datum noch keines gegeben haben.

Es könnte nun aber auch sein, dass, wie das Individuum Mensch von kurzer, dagegen das genus Mensch, die Menschheit, von längerer Dauer ist, so auch das Ra-Atom ein kurzes Dasein führt, verglichen mit der Substanzart Radium. Diese Annahme hat nach allen unsern Erfahrungen sehr vieles für sich; ihre Möglichkeit hat zur Voraussetzung, dass nach Massgabe des Abklingens, des Verschwindens, von Ra immer wieder neues gebildet wird, wie das ja unzweifelhaft für Ra-Emanation und die Induktionen gilt. Ra als solches wird ja trotz seiner Umwandlung nur langsam verschwinden, denn es lässt sich berechnen, dass von je 34,000 Millionen Ra-Atomen pro Sekunde nur je eines zerfällt, aber es liegt die Vermutung nahe, dass Ra, wie es sich in etwas anderes verwandelt, auch durch Umwandlung aus etwas anderem entstanden ist und beständig gebildet wird. Es wird jetzt als ziemlich sicher angenommen, dass Ra aus Ur oder einem Abkömmling desselben als Muttersubstanz gebildet wird; man schliesst dies u. a. auch daraus, dass überall, wo Ur vorkommt, auch Ra angetroffen wird und umgekehrt. Solange es also Ur auf der Welt gibt, wird auch Ra vorkommen müssen. Und das Ur selbst mit der begrenzten Lebensdauer von 600 Millionen Jahren, das als Ur verschwindet und sich in etwas anderes verwandelt, was ist sein Ursprung? Von Ewigkeit her kann es nicht in die Welt gesetzt sein, weil dann ja seine Dauer nicht eine endlich angebbare wäre; sollte es nicht selber durch Verwandlung entstanden sein, und sollten nicht diese Betrachtungen auch für Thor und Aktinium ihre Bedeutung haben?

Wir erkennen so, dass die Tatsache, dass gewisse chemisch einfache Körper sich umwandeln können in andere, uns zur Annahme eines fort-

dauernden Transformationsprozesses auf einem gewissen Gebiet der unorganischen Welt führt, und es fragt sich nun, ob diese Veränderungen nur in einer bestimmten Richtung einsinnig verlaufen oder ob diese Prozesse zyklischen Charakter haben.

Wir machen die Bemerkung, dass Ur das grösste bekannte Atomgewicht hat, 238.5, Thor mit 232.5 das zweitgrösste, Ra mit 225 kommt in dritte Linie, Pb mit 207 ist inaktiv; es scheint danach, dass die Eigenschaft, sich umzuwandeln, radioaktiv zu sein, den grössten materiellen, einfachen Gebilden zukommt; diese scheinen zu kompliziert gebaut, um vollständig stabil bleiben zu können. Durch Umwandlung in andere, stabilere, einfachere, sterben sie vielleicht schliesslich aus.

Dies Aussterben der grossen Atome erinnert uns an die analoge Erscheinung auf biologischem Gebiet, dass die grossen Tiertypen schon ausgestorben sind, die Mammuth, die grossen Saurier, Riesengürteltiere, jene Tierformen, welche im Gedächtnis der Menschheit als Drachen fortleben, wobei freilich dies Verschwinden nicht mit einer Verwandlung in kleinere Lebewesen verbunden ist. Als gemeinsamer Zug aller Transformationen auf dem Gebiet der Radioaktivität scheint sich für unser beschränktes Beobachtungsvermögen das zu ergeben, dass der Sinn der Entwicklung ein einseitiger ist, vom grossen zum kleinen führt; diese Erkenntnis ist für uns unbefriedigend, weil sie uns vor die Frage stellt, ob denn der Prozess des Abstammens des Einfachen vom Komplizierten, des Kleinen aus dem Grossen, nach rückwärts ein unbegrenzter sei oder abgegrenzt durch einen weiter nicht verständlichen, einmaligen Schöpfungsakt.

Derartige Konsequenzen unserer Überlegungen erinnern uns daran, wie kurz, wie zeitlich und räumlich begrenzt unsere Forschungskraft ist und dass folglich z. B. auf dem Gebiet der unorganischen Transformationen doch die Möglichkeit als offen betrachtet werden muss, dass neben den analytischen auch synthetische Prozesse vorkommen, dass im ganzen die Verwandlungen zyklischen Charakter haben. Vielleicht sind schon die jüngsten Beobachtungen von Ramsay, dass aus Ra-Emanation in Lösung von $CuSO_4$ die Elemente Na, Li, Ca gewonnen werden, eine Andeutung für das Vorkommen auch synthetischer Verwandlungen; und wir hätten vielleicht anzunehmen, dass gelegentlich auch Ra und Ur aus einfacherem entstehen können, dass wir es zu tun haben mit einer Art beweglichen Gleichgewichts.

Energie der Verwandlung.

Wir begeben uns wieder auf den Boden der Erfahrung, der quantitativen, physikalischen Forschung, wenn wir wenigstens noch eine wich-

tige Erscheinung betrachten, welche die radioaktiven Prozesse begleitet, das ist die Ausgabe von Energie in Form von Wärme, welche sehr bedeutend ist. Ra wird erhitzt infolge seiner Umwandlung, so dass seine Temperatur beständig zirka 3^0 höher ist als die der Umgebung, und des genauern hat sich herausgestellt auf Grund zuverlässiger, kalorimetrischer Messungen, dass ein gr Ra pro Stunde zirka 100 Grammkalorien Wärme ausgibt, ein experimentelles Forschungsergebnis, welches zusammen mit der Kenntnis der Lebensdauer des Ra von 2100 Jahren zu dem erstaunlichen Resultat führt, dass ein gr Ra während seiner Lebensdauer $2.10^9 = 2$ Milliarden Grammkalorien produziert, oder, um etwas zu sagen, was dem Vorstellungsvermögen näher liegt, soviel Energie, dass man damit während eines ganzen Jahres einen ungefähr einpferdigen Motor in Betrieb erhalten könnte, oder, um einen andern Vergleich zu wählen, ein gr Ra gibt während seines Zerfalls etwa 500,000mal mehr Wärme aus, als der Verbindungswärme von H und O zu einem Gramm H_2O entspricht. Dies ist bei weitem noch nicht die ganze Energie, die im Ra-gr-atom drin steckt, weil ja die Umwandlungsprodukte des Ra z. B. das letzte, Pb, auch noch grosse, nicht freigegebene Energiemengen enthalten. Diese Angaben, die sich zunächst nur auf das Ra beziehen, geben uns einen Fingerzeig über die Grösse der verborgenen Energien im Innern der Atome; wir haben dafür kein Verständnis, oder höchstens ein formal mathematisches, da wir ja wissen, dass Kräfte im allgemeinen mit abnehmender Entfernung zunehmen und für unendlich kleine Entfernungen ins Unendliche wachsen müssen; wie die elektrischen Monaden aber ausser ihren Riesenkräften in unendlich kleinen Räumen auch noch ausserordentlich grosse Geschwindigkeiten entwickeln, entzieht sich unserem Vorstellungsvermögen.

Aber für den Naturforscher hat die Wärmetönung, welche radioaktive Prozesse begleitet, freilich grosses praktisches Interesse; dieselbe ist nämlich so beträchtlich, dass man sich fragen muss, ob sie nicht bei der Erörterung kosmischer Prozesse in Betracht gezogen werden muss, z. B. bei Diskussionen über die Temperatur der Himmelskörper. Betreffend den thermischen Zustand der Erde war bisher die Ansicht die herrschende, weil anscheinend einzig mögliche, dass die durch Ausstrahlung in den kalten Weltraum abgegebene Wärme ersetzt werde durch die Einstrahlung der Sonne, und dass eine Veränderung der Mitteltemperatur unseres Planeten wesentlich von der Bilanz dieser Strahlungen abhänge. Nun haben aber vielfache Untersuchungen über die Mengenverhältnisse der bis zu erreichbaren Tiefen auf der Erde vorkommenden radioaktiven Substanzen es wahrscheinlich gemacht, dass die durch radioaktive Strah-

lung im ganzen auf Erden erzeugte Wärme vergleichbar sei mit der durch die Sonne eingestrahlten, d. h. dass sie bedeutend genug sei, um die mittlere Temperatur der Erde zu beeinflussen. Derartige Erfahrungen und Überlegungen sind u. a. geeignet, einiges Licht zu verbreiten über die bisher so schwer verständlichen Schwankungen im thermischen Zustand der Erde, die in den verschiedenen Eiszeiten und zwischen gelegenen warmen Perioden zum Ausdruck kommen. Nach Massgabe der Schwankungen des Vorrats an radioaktivem Material auf der Erde infolge seines Abklingens wird die Eigenenergie und damit die Temperatur der Erde veränderlich sein müssen, in grössern und kleinern Perioden, je nach den Stadien des Seins und Vorkommens der verschiedenen Repräsentanten radioaktiver Substanz. Und was als möglich erkannt ist für irdische Verhältnisse, wird zu übertragen sein auf andere Himmelskörper wie z. B. die Sonne, deren hohe Temperatur und grossartige Wärmeabgabe als das thermische Äquivalent der Gravitationsarbeit angesehen wird, vielleicht aber nicht nur teilweise, sondern wesentlich abhängt vom gegenwärtigen Gehalt an elementaren, aber sich verwandelnden Materialien. Vom Quantum noch nicht umgewandelten, hochatomistischen Urmaterials, also von Ur, Thor und vielleicht noch höher atomistischen Körpern hängt die Temperatur und gewissermassen das kosmische Alter der Himmelskörper ab. Es erscheint so, im Lichte der Zerfallstheorie der Werde- und Verwandlungsgang kosmischer Gebilde bestimmt durch das Leben, die Wandlungen der elementarsten Bestandteile, in welchen Materie auftritt.

Die Frage, ob die Eigenschaft der sogenannten elementaren Stoffe, sich unter Abgabe von Strahlen und von Energie in andere zu verwandeln, nur einigen wenigen Elementen wie Ur, Ra, Th etc. zukomme oder eine allgemeine Eigenschaft sei, ist einstweilen eine offene. Das Wenige, was wir durch einige Beispiele von Radioaktivität über die Energieverhältnisse im Innern von Atomen haben erkennen können, lässt uns ahnen, dass im Innern gerade der kleinsten materiellen Teile sich energetische Prozesse abspielen, welche gegenüber den uns unmittelbar beobachtbaren von unermesslicher Grossartigkeit sind. Gravitations- und Wärmewirkungen, wie sie unserer täglichen Erfahrung zugänglich sind, erscheinen wie geringe, nach aussen gelangende Restwirkungen gegenüber den Energie- und Kraftvorgängen, die im Innern der Materie magaziniert sind. Wie das Toben des Windes, die Stosskraft bewegter Wassermassen oder das Gekrabbel von Mensch und Tier an der Erdoberfläche ein kleines ist gegenüber den in majestätischer Unangefochtenheit sich abspielenden Bewegungserscheinungen kosmischer Gebilde, so

erscheinen diese letztern wie untergeordnete Aussenerscheinungen gegenüber der Gesamtheit der intra-atomistischen Geschehnisse. Wenn, gemäss einer landläufigen Theorie, die Weltkörper einst erkalten sollten durch den ausgleichenden Prozess der Wärmestrahlung, so bleibt dies fast eine belanglose Veränderung gegenüber den fortdauernden Kraft- und Energiewirkungen im Innern der Welt der Atome.

IV.

Die Entdeckung der radioaktiven Erscheinungen mit dem, was damit zusammenhängt, möchte ich als die dritte grundlegende Errungenschaft des letzten Jahrzehnts bezeichnen. Die Tatsachen, welche ihr zugrunde liegen, haben gewiss den Bereich unserer Erfahrungen ausserordentlich erweitert. Sie scheinen aber namentlich dazu bestimmt zu sein, unsere grundlegenden Vorstellungen über Materie und deren Eigenschaften in revolutionärer Art umzugestalten, und in dieser Hinsicht seien nur noch einige Andeutungen gestattet.

Massenbegriff.

Nachdem die qualitative Identität der β-Strahlen radioaktiver Körper mit den Kathodenstrahlen erkannt war, suchte man auch die unmittelbaren Eigenschaften der β-Teilchen, welche ja den Elektronen der Kathodenstrahlen entsprechen, direkt festzustellen, und zwar wiederum durch messende Beobachtungen der Ablenkungen, welche sie unter Wirkung von elektrischen und magnetischen Kräften erfahren. Es hat sich dabei zunächst herausgestellt, dass die β-Strahlen nicht homogen sind, d. h. in jedem einzelnen β-Strahle negative Teilchen, Elektronen, enthalten sind, deren Geschwindigkeiten verschieden sind; im allgemeinen sind sie grösser als die der Kathodenstrahlenteilchen. Es kommen da Geschwindigkeiten vor, welche nahe an die Lichtgeschwindigkeit heranreichen. Von ganz besonderer Wichtigkeit aber erwies sich das Verhalten der andern die Elektronen charakterisierenden Konstanten, des Verhältnisses ε/μ. Durch äusserst raffinierte und subtile Versuchsanordnungen ist es Kaufmann gelungen, zu zeigen, dass und wie, gesetzmässig, mit der Geschwindigkeit auch das Verhältnis ε/μ, das Verhältnis der elektrischen Ladung zur materiellen Masse, sich ändert.

Mit wachsender Geschwindigkeit nimmt dies Verhältnis ab, und zwar so, dass es bei Lichtgeschwindigkeit verschwindend klein wird. Da wir die elektrische Masse eines Elektron als konstant, nämlich gleich der Elementarladung annehmen müssen, so will das heissen, dass mit zunehmender Geschwindigkeit der Elektronen deren materielle Masse

ins Unbegrenzte zunimmt. Dies Resultat ist auf den ersten Blick gewiss recht eigentlich verblüffend; denn bisher hat man materielle Masse als etwas absolut Unveränderliches, als das von Ewigkeit her und bis in alle Ewigkeit Bestehende und Bleibende, als das eigentlich Seiende der materiellen Welt betrachtet. Das paradoxe Beobachtungsresultat konnte aber bald ohne Schwierigkeit physikalisch interpretiert werden, und zwar andeutungsweise auf Grund folgender Überlegung: Jedes bewegte elektrische Teilchen hat die Eigenschaften eines Stromteilchens — ein Strom besteht ja selber aus nichts anderem als bewegten elektrischen Teilchen —; es wirkt also in seiner Umgebung wie ein Strom, z. B. magnetisierend, und alle Substanzen ohne Ausnahme, auch der Äther, sind magnetisierbar. Das Entstehen oder Verschwinden von Magnetismus erregt aber nach den Gesetzen der elektrodynamischen Induktion elektrische, sogenannte elektromotorische Kräfte, also Kräfte, welche in unserem Fall auf das, das magnetische Feld der Umgebung veranlassende bewegte elektrische Teilchen zurückwirken; anders ausgedrückt: Ein bewegtes Elektron führt sein eigenes magnetisches Feld mit sich, welches auf seine Bewegung zurückwirkt. Diese elektromotorische Rückwirkung oder Kraft ist nach Lenz zunächst eine hemmende und folgt übrigens denselben Gesetzen, nach welchen mechanische Kräfte auf materielle Massen wirken; diese Kraft ist nämlich proportional der Geschwindigkeitsänderung, der Acceleration des Bewegten und ausserdem einem Faktor, der Masse genannt wird, der aber, wenn es sich um elektrische Kräfte handelt, nicht materielle Masse, sondern eine von den Bewegungsumständen abhängige Grösse ist. Die Gesamtkraft, welche im allgemeinen auf ein materielles, mit Elektrizität geladenes Teilchen wirkt, ist also eine zweifache, nämlich gleich seiner effektiven Geschwindigkeitsänderung multipliziert einmal mit der materiellen Masse, die es führt, sodann noch mit einem zweiten Faktor, welcher von der Rückwirkung des eigenen, selbst erzeugten magnetischen Feldes auf die Ladung herrührt; diesen zweiten Faktor pflegt man zur Unterscheidung von der materiellen Masse als elektromagnetische Masse zu bezeichnen. Auch die Energie eines bewegten elektrischen Teilchens setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen, aus einem mechanischen und einem elektrischen, sie ist gleich dem halben Geschwindigkeitsquadrant, multipliziert einmal mit der materiellen Masse, sodann wieder mit demselben Faktor, welcher eben als elektro-magnetische Masse bezeichnet wurde.

An einem bewegten elektrischen Teilchen sind also zwei Massen zu unterscheiden, eine materielle und eine elektro-magnetische; beide haben

eine gemeinsame Eigenschaft; sie bewirken die sogenannte Trägheit des Bewegten d. h. das Bestreben, den vorhandenen Bewegungszustand unverändert beizubehalten; von diesen beiden Massen ist die materielle als unveränderlich zu betrachten, dagegen hängt die elektro-magnetische von der Geschwindigkeit ab, und zwar nimmt sie mit derselben zu nach einem Gesetz, welches sich nach bekannten elektrodynamischen Prinzipien berechnen lässt.

Es war nun begreiflicherweise von Interesse, zu erfahren, in welchem Verhältnis sich die Gesamtmasse eines Elektron auf materiellen und elektro-magnetischen Anteil verteilt. In dieser Hinsicht nun wurde zunächst vermutungsweise die gottlose Idee geäussert, dass vielleicht die elektro-magnetische Masse die ganze Masse darstelle, dass also Elektronen keine materielle Masse, sondern bloss elektro-magnetische besitzen. Und dieser Ansicht haben nun die letzten, viel diskutierten, berühmten Messungen Kaufmanns recht gegeben. Danach ist also ein Elektron ein elektrisches und nur elektrisches Elementarding, und es ist also auch die an Kathodenstrahlen früher aufgefundene materielle Masse, welche etwa 1/2000 eines H-Atoms sein sollte, nicht nur so klein, sondern 0. Ein Elektron wäre danach ein unteilbares, immer und überall gleiches Fetzchen Elektrizität mit einer ganz bestimmten konstanten und zwar negativen Ladung. Diese Ansicht ist, soweit wir sehen, korrekt und einwurfsfrei aus Tatsachen abgeleitet, und sie ermöglicht uns, die Erscheinungen auf elektrischem Gebiet vollständiger und exakter als bisher darzustellen. Es liegt nun zunächst nahe, auf Grund dieser Erkenntnisse auch die Natur der positiven Elektrizität, z. B. des + Elementarquantums zu deuten, und zwar muss dieselbe sich aus dem Elektron, dem masselosen, negativen Elementarding konstruieren lassen. Versuche, dies zu tun, sind bereits mehrfach durchgeführt worden.

Der Boden tatsächlicher Begründung wird nun aber offenbar verlassen, wenn man, wie es jetzt mit vielem empressement geschieht, die Generalisation stipuliert, dass nicht nur elektrische Gebilde, wie die Elektronen, keine materielle Masse enthalten, sondern dass es überhaupt in der Welt keine materielle Masse gäbe, sondern alle Masse, z. B. die der chemischen Atome, sich müsse konstruieren lassen als Wirkung der elektrischen Urdinge, der Elektronen. Auf die vielen, heute mit einer gewissen Fieberhaftigkeit, namentlich von englischer Seite, betriebenen Versuche, chemische Atome mit allen ihren Eigenschaften und Wirkungen aus Elektronen, diesen rein elektrischen und zwar negativ elektrischen Elementardingen zu konstruieren, kann hier nicht weiter eingetreten werden; es ist auch noch nicht ersichtlich, zu was für Resultaten sie führen werden. Diese Versuche widerstreben in den Augen vieler sozusagen dem natürlichen Menschenverstand, weil durch sie, wie sich der

frühere englische Ministerpräsident Balfour ausdrückt, die Materie nicht nur erklärt, sondern auch sofort hinweg expliziert wird. Es seien nur noch einige Betrachtungen vorgeführt zur Bestreitung der Ansicht, als seien die Physiker mit diesen neuesten Velleitäten aus dem Häuschen geraten, als seien ihre Bemühungen barer Unsinn.

Wenn wir der festen Überzeugung sind, dass elektrische oder magnetische Agentien an materielle Körper gebunden sein müssen, so entspricht das zunächst allerdings der Erfahrung; denn elektrische oder magnetische Anziehungen erkennen wir direkt aus den Bewegungen, welche sie an materiellen Körpern veranlassen, und dies gilt in letzter Instanz auch von verborgenen elektrischen Erscheinungen, wie Strömung von Elektrizität in ruhenden Leitern, elektromotorischen oder magnetomotorischen Wirkungen in ruhenden materiellen Körpern. Dabei bezeichnen wir als materielle Körper solche, welche gewisse elementare Wirkungen ausüben, nämlich Wirkungen auf unsere Sinnesorgane, wodurch Wahrnehmungen ausgelöst werden. Materielle Körper sind also z. B. sichtbar, betastbar, riechbar, hörbar, und wir können also sagen, es sei das Vorhandensein materieller Körper durch unmittelbare Sinneswahrnehmung bezeugt. Dies gilt nun allerdings nicht von dem, was man Elektrizität nennt, ihr Vorhandensein wird nicht durch direkte Sinneswahrnehmung bezeugt, sie ist weder sichtbar noch betastbar, riecht nicht, tönt nicht, sondern der Begriff elektrisch ist eine Abstraktion, eine Zusammenfassung von gewissen gesetzmässig unter gesetzmässigen, bestimmten Bedingungen an Objekten direkter Wahrnehmbarkeit beobachteten Erscheinungen. Und wenn wir das Auftreten elektrischer Erscheinungen gewissen Trägern von Elektrizität, elektrischen Agentien oder Massen zuschreiben, so geschieht das mit derselben Denknotwendigkeit, welche auf Grund direkter Wahrnehmungen uns zum Begriff Materie geführt hat. Materielle Massen und elektrische Massen sind also durchaus voneinander verschieden und beide wohl charakterisiert, und es ist keinesfalls möglich, elektrische Wirkungen zu konstruieren aus materiellen, sie als notwendige aus erstern abzuleiten. Wenn wir also behaupten, Elektrizität müsse einen materiellen Träger haben und uns dabei bewusst werden, dass das heisst: Etwas, was elektrische Wirkungen ausübt, muss auch andere Wirkungen, nämlich die der materiellen Körper ausüben, so drücken wir dadurch nur die Bedingung der vermittelten Beobachtbarkeit, aber nicht einen notwendigen Zusammenhang aus. Nun ist es gelungen, eine Eigenschaft der sogenannten materiellen Körper, die Trägheit als elektrische Wirkung aufsufassen, sie als den Ausdruck gesetzmässiger elektrischer Erscheinungen zu konstruieren, und es ist ein leichtes, ausser der Trägheit auch andere sogenannte materielle Wirkungen als elektrische aufzufassen; daher können wir den Dualismus von elektrisch und materiell aufheben, und wir müssen die grössere Dignität einer primären Existenz dem einen, nämlich dem elektrischen Prinzip zuweisen.

Und wenn es wirklich dazu kommen sollte, dass alle physikalischen Phänomene sich als elektrische oder elektro-magnetische auffassen lassen, dann hätte sich wieder nur ein Entwicklungsgang vollzogen, wie er der physikalischen Forschung eigentümlich ist, Kompliziertes aufzufassen als zusammengesetzt aus Einfacherem, Einheit und Übersichtlichkeit zu bringen in die Darstellung der Komplexität der Vorgänge in der uns umgebenden Welt im Interesse der Ökonomie des Denkens, das Ding an sich aber erkennen wir nicht.