

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Neueste Anschauungen über Elektrizität

Lodge, Oliver

Leipzig, 1896

Vorlesungen

VORLESUNGEN

(Die folgenden Vorlesungen stehen in Beziehung zu unserem Thema und sind der Bequemlichkeit halber diesem Buche angehängt. An einigen Stellen ist das Datum ihrer Entstehung in Betracht zu ziehen.)

VORLESUNG I

DER ZUSAMMENHANG VON ELEKTRICITÄT UND LICHT

Gehalten am 16. December 1880 in der London Institution

Von dem Augenblicke an, da ich es übernahm, in dem kurzen Zeitraum von 60 Minuten einen Gegenstand zu besprechen, dessen Inhalt so tief und ausgedehnt ist, dass selbst 60 Stunden zu einer eingehenden und erschöpfenden Behandlung desselben nicht ausreichen würden, hat mich das Erstaunen über meine eigene Kühnheit nicht verlassen.

Ich muss mich ganz darauf beschränken, einige der am meisten hervorragenden und typischen Punkte in der Beziehung zwischen Elektrizität und Licht hervorzuheben und werde, um Zeit zu ersparen, mein Thema sofort in Angriff nehmen.

Wenn Jemand daran geht, die Beziehungen zwischen Elektrizität und Licht auseinander zu setzen, so wird

man ihn naturgemässer und berechtigter Weise sofort mit den Fragen unterbrechen: Was verstehen Sie unter Elektrizität — Was verstehen Sie unter Licht? Diese beiden Fragen möchte ich kurz zu beantworten suchen und bemerke dabei, dass ich bei der Beantwortung durchaus nicht bei meinen Zuhörern eine völlige Unkenntniss des Gegenstandes annehme, sondern eher das Gegentheil voraussetze; wenn ich also wohlbekannte und einfache Versuche vor Ihnen wiederhole, so müssen Sie sich erinnern, dass dieses zu dem Zwecke geschieht, Ihre Aufmerksamkeit auf deren wirkliche Bedeutung, nicht auf das äusserliche und oberflächliche Bild des Vorgangs zu lenken. Wenn ich über das Wesen der Schwerkraft heute mit Ihnen zu sprechen hätte, so würde ich Ihnen z. B. die allbekannte Erscheinung wieder vorführen, dass ein Stein zur Erde fällt.

Wir fragen also zuerst: Was ist Elektrizität? und die einfache Antwort lautet: Wir wissen es nicht. Dies braucht uns aber nicht zu entmuthigen. Würde die Frage gestellt: Was ist Stoff? oder was ist Energie? so würden wir abermals antworten müssen: Man weiss es nicht.

Freilich sind die Bezeichnungen „Stoff“ und „Energie“ nur allgemeine Ausdrücke, sozusagen Ueberschriften, unter welche wir speciellere Erscheinungen einzureihen haben.

Würden wir gefragt: was ist Schwefel? oder was ist Selen? so würden wir zum Mindesten antworten können:

eine Art von Stoff, und wir würden daran gehen dürfen, deren Eigenschaften, d. h. die Art, wie sie auf unsere oder andere Körper einwirken, zu beschreiben.

Ferner auf die Frage: was ist Wärme? könnten wir antworten: sie ist eine Art der Energie, und könnten alsdann ihre Eigenart beschreiben, welche sie von andern Arten der Energie unterscheidet.

Allein auf die Frage: was ist Elektrizität? haben wir keine fertige Antwort zu geben. Wir können weder behaupten, sie sei eine Art von Materie, noch können wir dieses bestreiten; andererseits können wir auch nicht bestimmt behaupten, sie sei eine Form der Energie, wenigstens würde ich geneigt sein, dieses zu bestreiten. Es ist möglich, dass Elektrizität ein Ding für sich ist, gerade wie die Materie eines ist.

Trotz alledem kann ich Ihnen sagen, was ich unter Elektrizität verstehe, indem ich Ihnen deren bekannte Wirkungsweise darlege.

Hier ist eine Batterie — das heisst eine Elektrizitätspumpe —, sie wird Elektrizität *weiter senden*. Am kommenden 20. Januar wird Ihnen Herr Ayrton wahrscheinlich sagen, dass die Batterie Elektrizität *erzeuge*; allein ich hoffe, Sie werden sich dann erinnern, dass weder die Batterie noch irgend sonst eine Vorrichtung dieses zu thun vermag. In dem Sinne, in dem ich die Bezeichnung anwende, ist es ebenso unmöglich, Elektrizität zu erzeugen, als es unmöglich ist, Materie zu erzeugen. Selbstverständlich weiss dies

Herr Ayrton sehr wohl; es ist nur eine Frage des Ausdrucks, d. h. dessen, was man unter dem Namen Elektrizität zu verstehen hat.¹⁾

Ich möchte also, dass Sie diese Batterie, sowie alle elektrischen Maschinen und Batterien als eine Art von Elektrizitätspumpe ansehen, welche Elektrizität durch die Drähte treibt, ähnlich wie eine Wasserpumpe das Wasser durch Röhren treibt; Sie müssen sich aber klar machen, dass eine elektrische Pumpe ebensowenig im Stande ist, Elektrizität zu fabriziren, als eine Wasserpumpe im Stande ist, Wasser zu fabriziren. Während nun der elektrische Strom im Gange ist, zeigt der Draht eine Reihe von Eigenschaften, welche man die Eigenschaften des Stroms nennt. (Hierbei zeigte der Vortragende nacheinander einen glühenden Platindraht, den elektrischen Bogen zwischen zwei Kohlenspitzen, den Funken einer Elektrisirmaschine und eines Induktionsapparates, sowie das Glühen innerhalb einer Geisler'schen Röhre. Ferner wurde ein grosser Nagel magnetisirt, indem man einen stromdurchflossenen Draht um ihn wickelte, und es wurden zwei Stromspulen aufgehängt, um zu zeigen, wie sie sich gegenseitig anzogen und abstiessen.)

¹⁾ Oder auch was man unter dem Ausdruck *erzeugen* versteht. Der Titel von Herrn Ayrton's Vortrag lautet: „Die Erzeugung von Elektrizität“, und es lag mir daran, Verwahrung einzulegen gegen den Ausdruck „Erzeugung“ als ob man von Hervorbringung oder Erzeugung von Elektrizität in derselben Weise reden könne wie von der der Wärme.

Um einen Magneten zu haben, brauchen wir also nur einen Strom von Elektrizität, der wirbelartig im Kreislauf herumfließt. Ein Wirbel oder Wirbelstrom von Elektrizität ist thatsächlich ein Magnet, und vice versa; und diese Wirbel haben die Macht, andere, vorher existirende Wirbel zu beeinflussen und anzuziehen, nach bestimmten Gesetzen, welche man die Gesetze des Magnetismus nennt; überdies haben sie die Macht, neue Wirbel in benachbarten Leitern zu erregen und abzustossen, entsprechend den Gesetzen des Diamagnetismus. Die Theorie der Wirkung ist bekannt, aber sowohl die Natur der Wirbel als die des einfachen elektrischen Stromes ist bis jetzt unbekannt.

(Hier wurde an einem grossen Elektromagneten gezeigt, wie im magnetischen Felde der Lichtbogen der Vacuum-Entladung eines Induktionsapparates rotirt. Fig. 24.)

Soviel wäre zu sagen über das, was sich ereignet, wenn Elektrizität in Leitern weiter geführt wird; d. h. wenn sie sich fortbewegt wie ein Wasserstrom in einer Röhre oder wenn sie sich wie ein Wirbel im Kreislauf bewegt.

Es giebt aber noch eine andere Art von Erscheinungen, die gewöhnlich als von diesen verschieden und einer andern Klasse angehörig betrachtet werden, welche aber nicht so verschieden sind, als es erscheint; sie treten dann auf, wenn man die Pumpe mit einem Stück Glas oder irgend einem andern schlechten Leiter verbindet, und wenn man versucht, die Elektrizität hindurch zu zwingen. Es gelingt wohl, einen Theil hindurch zu

treiben, aber die Elektrizität strömt nicht mehr wie Wasser, das durch eine offene Röhre fließt; vielmehr ist es, als ob die Röhre, durch eine Anzahl elastischer Zwischenwände oder Diaphragmen völlig verstopft würde. Das Wasser kann nicht vorwärts dringen ohne diese Diaphragmen zu verbiegen und zu spannen. Die verbogenen Zwischenwände werden sich aber wieder aufrichten und das Wasser zurückdrängen, sobald sich ihnen eine Möglichkeit dazu bietet. (Hier wurde das Laden einer Leydener Flasche gezeigt und das Modell Fig. 11 S. 71.) Als Hauptsache muss festgehalten werden, dass es elektrische Energie in zweierlei Formen, der statischen und der kinetischen, giebt, und dass es daher möglich ist, den raschen Wechsel von einer Form zur andern, den wir Schwingungen nennen, zu erhalten.

Nunmehr gehen wir über zu der zweiten Frage: was verstehen Sie unter Licht? Die erste und auf der Hand liegende Antwort lautet: das wissen wir Alle. In der That weiss es ein Jeder, der nicht geradezu blind ist, bis zu einem gewissen Grade. Wir haben ein besonderes Sinneswerkzeug für die Empfindung des Lichtes, wohingegen uns ein solches für die Elektrizität fehlt. Trotzdem müssen wir bekennen, dass wir sehr wenig über die eigentliche Natur des Lichtes wissen — wenig mehr als über die der Elektrizität. Aber wir wissen soviel, dass das Licht eine Art der Energie ist, und überdies eine Energie, welche rasch zwischen der statischen und kinetischen Form wechselt — dass es

thatsächlich eine besondere Art von Schwingungsenergie ist. Wir sind absolut sicher, dass Licht eine periodische Störung innerhalb irgend eines Mediums ist; periodisch in Bezug auf Raum und Zeit; d. h. dieselben Erscheinungen treten regelmässig zu derselben Zeit in bestimmten gleichmässigen Entfernungen auf, ebenso wie sie sich in bestimmten Zeitintervallen an denselben Stellen zeigen. Das Licht gehört also thatsächlich zu derjenigen Art von Bewegungen, welche die Mathematiker Undulations- oder Wellenbewegungen nennen.

Die Wellenbewegung an diesem Apparat (Powell's Wellen-Modell) entsteht aus der einfachen auf- und absteigenden Bewegung, welche man gewöhnlich mit dem Ausdruck „Welle“ bezeichnet. Allein wenn der Mathematiker von einer Welle spricht, so bezeichnet er damit eine Störung, die sich durch eine bestimmte mathematische Formel darstellen lässt, nicht aber eine Auf- und Abbewegung oder etwas, was den Unebenheiten auf der Seeoberfläche gleicht. Die Bewegung der Seeoberfläche gehört zwar auch den Wellenbewegungen an, bildet aber nur eine besondere Art derselben; im gewöhnlichen Sprachgebrauch hat der Ausdruck Welle die Bedeutung dieser Bewegung und kaum je eine andere. Wenn man im gewöhnlichen Leben von einer Welle oder Wellenbewegung spricht, so denkt man sofort an ein Auf- und Absteigen, ja sogar an eine Brandung. Wenn wir aber die Behauptung aussprechen, die Form der Energie, welche *Licht* genannt wird, sei eine wellenförmige Be-

wegung, so wollen wir damit durchaus nicht sagen, dass sich dabei irgend etwas auf und ab bewege, oder dass die Bewegung, falls wir sie sehen könnten, in irgend einer Weise der Bewegung des Meeres ähnlich wäre. Vielmehr ist uns die Art der Bewegung unbekannt; wir wissen nicht einmal, ob eine Bewegung im gewöhnlichen Sinne des Wortes stattfindet.

Was haben wir nun, nach diesem Einblick in ihre Natur, über den Zusammenhang von Licht und Elektrizität gelernt? Leider nur sehr wenig. Es beschränkt sich ungefähr auf Folgendes: Einerseits kann elektrische Energie in zwei Formen existiren: 1) In der statischen Form, wo Isolatoren in elektrische Spannung versetzt werden, indem man Elektrizität in dieselben hineintreibt, wie bei der Leydener Flasche. Diese Spannung ist durch ihre Neigung zur Entladung und zur Arbeitsleistung eine Form der Energie. 2) In der kinetischen Form, wo Elektrizität in einem Leiter sich körperlich fortbewegt oder sich in diesem Leiter als Wirbel im Kreise dreht. Diese elektrische Bewegung ist eine Form der Energie, weil Leiter und Wirbel sich gegenseitig anziehen oder abstossen und so Arbeit leisten.

Andererseits wissen wir, dass Licht der rasche Energiewechsel von einer Form zur anderen ist — von der statischen Form, in welcher das Medium gespannt wird, zur kinetischen Form, in welcher es sich bewegt. Es ist vielleicht möglich, dass die statische Form der Energie des Lichtes *elektrostatisch* ist, d. h. dass die Spannung

des Mediums eine *elektrische* ist, und dass die kinetische Form der Energie des Lichtes *elektrokinetisch* ist, d. h. dass seine Bewegung nicht eine gewöhnliche, sondern eine elektrische Bewegung ist; und dass thatsächlich das Licht nicht eine materielle, sondern eine elektrische Schwingung ist.

Am 5. November 1879 starb in Cambridge ein Mann von höchster Begabung — einer solchen Begabung, wie sie nicht oft in einem Jahrhundert vorkommt — dessen Hauptwerk in der Feststellung dieser Thatsachen und in der Entdeckung des Zusammenhangs zwischen Licht und Elektrizität bestand, und in dem Beweis — denn meiner Ansicht nach gab er diesen Beweis —, dass das Licht thatsächlich eine elektromagnetische Störung ist. Das allzu frühe Hinscheiden von James Clerk Maxwell ist ein unersetzlicher Verlust für die Wissenschaft, denn er war mit Untersuchungen beschäftigt, die zur Zeit kein Anderer hoffen darf, mit Erfolg zu erfassen und weiter zu führen. Glücklicher Weise erfolgte sein Tod erst nach dem Erscheinen seines Buches über Elektrizität und Magnetismus. Es ist dies eines jener unsterblichen Werke, welche unsere Begriffe von dem menschlichen Geiste höher heben, ein Buch, welches nach dem Urtheil kompetenter Forscher neben Newton's „Principia“ genannt zu werden verdient. Aber es ist nicht vollkommen wie die „Principia“; vieles darin ist noch im Rohzustand und bedarf der Durcharbeitung. Es enthält viele Druckfehler und Irrthümer und ein

Theil des zweiten Bandes ist inhaltlich so schwierig, dass er beinahe unverständlich zu nennen ist. Manche Notizen darin waren nur für seinen Privatgebrauch und nicht zur Veröffentlichung bestimmt. Denn heutzutage ist es beinahe unmöglich, ein Werk durch zwanzig oder dreissig Jahre im Innern still zur Reife zu bringen, wie Newton dies vor zweihundert und fünfzig Jahren gethan. Eine zweite Auflage wäre erschienen und manche Verbesserung der Form darin vorgenommen worden, wenn dem berühmten Verfasser ein längeres Leben vergönnt gewesen wäre.

Der Hauptbeweis für die elektromagnetische Theorie des Lichtes ist folgender: die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ist oft gemessen worden und ist ziemlich genau bekannt; ebenso lässt sich aus elektrischen Messungen die Geschwindigkeit berechnen, mit der eine elektromagnetische Wellenstörung sich fortbewegen würde, wenn man eine solche hervorbringen könnte. Beide Geschwindigkeiten stimmen genau überein. Es ist dies die grosse, als „ v “ bekannte physikalische Konstante, welche viele Physiker gemessen haben und welche sie wahrscheinlich noch lange Zeit messen werden (§ 138).

Maxwell hat viele glänzende Entdeckungen gemacht, nicht nur auf dem Gebiete der Elektrizität, sondern auch auf dem der Theorie von der Natur der Gase und auf dem der molekularen Physik im Allgemeinen; aber meiner Meinung nach gleicht keine an Tragweite und an künf-

tiger Bedeutung der eben erwähnten, dass das Licht eine elektrische Erscheinung ist.

Die erste Ahnung dieser grossen allgemeinen Thatsache fasste im Jahre 1845 Michael Faraday, jener Fürst unter allen experimentirenden Physikern. Es ist nicht klar, welche Gründe er für seine Vermuthung des Zusammenhanges von Licht und Elektrizität hatte — wahrscheinlich waren sie ihm selbst nicht vollkommen bewusst, aber er scheint eine Art von Ueberzeugung gehabt zu haben, dass, wenn er nur lange genug Versuche anstellte, alle denkbaren Arten von Lichtstrahlen in allen denkbaren Richtungen durch elektrische oder magnetische Felder auf alle denkbaren Medien fallen zu lassen, so müsse er schliesslich irgend etwas finden. Und so machte er es; mit wahrhaft himmlischer Geduld und Ausdauer, die uns an die Art und Weise erinnert, mit welcher Kepler auf anderem Gebiete eine Annahme nach der anderen durchrechnete, verband Faraday Licht mit Elektrizität oder Magnetismus auf jede nur mögliche Weise. Schliesslich wurde seine Mühe belohnt, und zwar durch einen ganz absonderlichen Erfolg. Dazu brauchte er zunächst einen sehr mächtigen Magneten, der sehr stark erregt wurde; danach mussten die beiden Pole so durchbohrt werden, dass durch die Löcher ein Lichtstrahl längs den magnetischen Kraftlinien hindurch gesandt werden konnte. Da gewöhnliches Licht sich als unbrauchbar erwies, musste ein Strahl von planpolarisirtem Licht beschafft und zwischen die Pole gesandt werden.

Damit war aber noch nichts erreicht, bis man schliesslich ein Stück von einem seltenen und von Faraday selbst entdeckten und hergestellten Material dazwischen brachte. Es ist dies eine Art von schwerem, borsaures Bleioxyd enthaltendem Glase, das sehr dicht ist und das völlig tadellos sein muss.

Nach Beendigung aller dieser Vorbereitungen ist der Erfolg nur der: wenn das polarisirte Licht durch einen Analysator aufgefangen und dieser so gestellt wird, dass er es auslöscht und das Gesichtsfeld vollständig verdunkelt, ehe der Magnet erregt wird, dann findet eine schwache, kaum bemerkbare Aufhellung statt, sobald die Verbindung mit der Batterie und die Erregung des Magneten erfolgt. Diese Helligkeit verschwindet sofort wieder, wenn der Analysator um ein Weniges gedreht wird. (Dieser Versuch wurde gezeigt.) Kein Wunder, dass Niemand dieses Resultat verstand. Faraday selbst verstand es gar nicht; er scheint geglaubt zu haben, dass die magnetischen Kraftlinien leuchtend, oder dass das Licht magnetisch geworden sei — kurz, er befand sich ganz im Dunkeln und hatte keine Ahnung von der wahren Bedeutung. Es war eine verfrühte Entdeckung, zu einer Zeit, wo die Wissenschaft noch nicht weit genug vorgeschritten war, um sie zu verstehen. Erst Sir William Thomson sprach kurz, aber klar, deren wichtige Folgerungen aus und Clerk Maxwell entwickelte sie danach noch weiter.

Das Princip dieses Versuches wurde alsdann mit

Hülfe eines mechanischen Modells erläutert. Es war dies ein Wheatstone'sches Photometer, bestehend aus einem Zahnrad, das auf der Innenseite eines befestigten äusseren Rades von doppeltem Durchmesser umlief, so dass eine an dem inneren Kreis befestigte Kugel eine Art von Ellipse beschrieb. Eine besondere Vorrichtung war vorgesehen, um die Kugel genau über dem Aussenrand des kleineren Rades einzustellen; sie beschreibt dann eine gerade Linie, den Durchmesser des grösseren Kreises, mit einer einzigen harmonischen Bewegung: und diese einfache Bewegung ist thatsächlich zusammengesetzt aus zwei gleichen entgegengesetzten Kreisbewegungen, nämlich der Umdrehung des Mittelpunktes des kleinen Rades und der Umdrehung der Kugel um diesen Mittelpunkt, die nach entgegengesetzter Richtung mit derselben Geschwindigkeit erfolgen.

Der ganze Apparat war derartig aufgestellt, dass er durch einen Griff und eine endlose Schraube nach beiden Richtungen hin langsam gedreht werden konnte; dadurch wurde die eine der Kreisbewegungen beschleunigt und die andere verzögert. Als Folge hiervon ward die Bahn der Kugel in Drehung versetzt, beschrieb ein etwas verwickeltes Hypocycloid, und stellte damit die Drehung der Schwingungsrichtung des Lichtes dar (§ 172).

Dieses ist der grundlegende Versuch, der wahrscheinlich den Anlass zu Clerk Maxwell's Theorie des Lichtes gab. Seither sind viele neue Thatsachen in den Beziehungen zwischen Elektrizität und Licht entdeckt

worden, und in neuester Zeit kommen sie haufenweise zu Tage.

Faraday fand, dass ausser dem schweren Glase noch viele andere durchsichtige Media im magnetischen Felde dieselbe Erscheinung, obschon in geringerem Grade, hervorriefen; die sehr wichtige Thatsache, dass selbst Luft, wenn auch fast unmerklich, eine magnetische Drehung zeigt, ist kürzlich durch Röntgen und Kundt in Deutschland entdeckt worden.

Herr Kerr aus Glasgow dehnte den Versuch auf undurchsichtige Körper aus und zeigte, dass die Polarisationsebene des Lichtes bei seinem Durchgang durch magnetisirtes Eisen gedreht wird. Freilich muss das Eisenplättchen wegen seiner Undurchsichtigkeit ausserordentlich dünn sein; daher ist die Ablenkung sehr gering, wenn auch die dem Eisen innewohnende drehende Kraft unzweifelhaft sehr gross ist; überhaupt gelang Herrn Kerr der Nachweis nur durch sehr grosse Sorgfalt und Geschicklichkeit. Herr Fitzgerald aus Dublin hat die Frage mathematisch geprüft und gefunden, dass das von Herrn Kerr erreichte Resultat sich aus der Maxwell'schen Theorie voraussagen liess.

Aus der Theorie folgt ferner, dass die für Licht durchlässigen Körper für Elektrizität Nichtleiter oder Isolatoren sind elektrische Leiter aber nothwendiger Weise für Licht undurchdringlich sein müssen. Dieses bestätigt die einfache Beobachtung; Metalle sind die besten Leiter und zugleich die undurchsichtigsten Körper

die wir kennen; Isolatoren, wie Glas und Krystalle, sind durchsichtig, sobald sie genügend homogen sind; die merkwürdigen Untersuchungen von Herrn Graham Bell haben sogar gezeigt, dass das für unser Auge ganz undurchsichtige Ebonit für gewisse Arten von Strahlung wirklich durchsichtig und sogar beträchtlich durchsichtig ist.

(Hier wurde an mechanischen Modellen der Grund

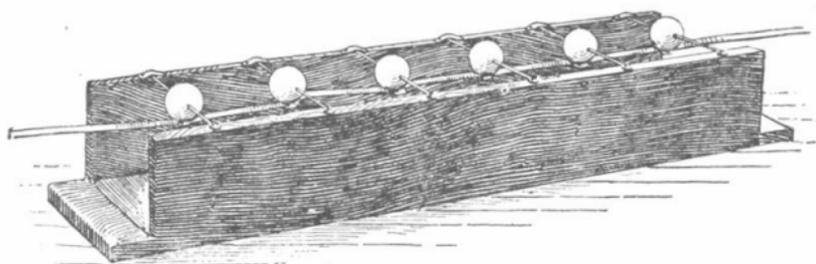


Fig. 66.

erläutert, warum durchsichtige Körper isoliren und warum gute Leiter undurchsichtig sind.)

Der eine Apparat, welcher einen dielektrischen Körper darstellt, ist bereits auf Fig. 8 abgebildet; Wellen durchlaufen ihn, sobald das Seil, auf dem die sämtlichen elastisch befestigten Kugeln aufgereiht sind, in Schwingung versetzt wird.

Der andere Apparat, der einen metallischen Leiter darstellen soll, ist auf Fig. 66 abgebildet. Bei diesem gleiten die Holzkugeln auf glatten Messingstangen, die

durch ein Seil mit einander verbunden sind. Verschiebt man sie, so haben sie kein Bestreben, in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren. Schüttelt man das Seil, welches die Kugeln verbindet, so dringen die Wellen bis zu einer gewissen beschränkten Tiefe in das Medium ein, gehen aber nicht ganz hindurch.

(Beide Apparate wurden hinter einander gestellt und verbunden; die Wellen, welche längs des Seils durch den einen frei hindurchliefen, wurden von dem anderen theils aufgehoben, theils zurückgeworfen.)

Die Theorie führt zu dem weiteren Schlusse, dass die Geschwindigkeit des Lichtes in einem durchsichtigen Körper durch dessen elektrische Spannungskonstante beeinflusst werde; mit anderen Worten, dass dessen Brechungs-Index eine nahe, aber noch nicht ganz klar gestellte Beziehung zu seiner spezifischen Induktionsfähigkeit habe. Versuche haben diese Annahme theilweise, aber bis jetzt nur ungenügend bestätigt.

Es giebt aber gar manche, von der Theorie nicht vorausgesehene Ergebnisse, deren Zusammenhang mit ihr noch nicht klar gestellt ist. Es ist eine Thatsache, dass Licht, welches auf die Platinelektrode eines Voltameters fällt, hier einen Strom erzeugt; sie wurde meines Wissens zuerst durch Sir W. B. Grove beobachtet, jedenfalls von ihm in seiner „Correlation of Forces“ erwähnt. Bequerel und Robert Sabine haben dieselbe Erscheinung bei anderen Substanzen beobachtet, und jetzt sind die Versuche durch Herrn

Minchin auch auf fluorescirende und andere Körper ausgedehnt worden.

Zum Schlusse, — ich muss mich kurz fassen, — haben wir die merkwürdige Wirkung des Lichtes auf Selen. Diese Thatsache wurde durch einen Assistenten im Laboratorium von Herrn Willoughby Smith zufällig entdeckt: er bemerkte, dass ein Stück Selen die Elektrizität viel besser leitet, wenn Licht darauf fällt, als wenn es im Dunkeln liegt. Das Licht einer Kerze genügt dafür, und bringt augenblicklich den Widerstand auf ein Fünftel des ursprünglichen Werthes.

Ich könnte Ihnen alle diese Erscheinungen vorführen, aber es ist nicht viel an ihnen zu sehen; als Phänomene sind sie unendlich interessant, aber als Experiment kaum mehr in die Augen fallend als Faraday's Versuch mit dem schweren Glase.

Es ist dasselbe Phänomen, welches, wie Sie wissen, Professor Graham Bell in seiner merkwürdigen und scharfsinnigen Erfindung, dem Photophon, angewendet hat. Durch die Freundlichkeit von Herrn Silvanus Thompson erhielt ich einige Zeichnungen, um Ihnen das Princip dieser Erfindung zu zeigen und Herr Shelford Bidwell hat die Güte gehabt, mir sein selbstverfertigtes Photophon zu leihen, das auf kurze Entfernungen vorzügliche Dienste thut.

Ich habe Ihre Zeit nun lange genug in Anspruch genommen; ich möchte nur noch auf das hindeuten, was uns wohl die nächste hervorragende Entdeckung bringen

dürfte; nämlich die Uebertragung von Licht durch Elektrizität; ich meine damit die Uebertragung von Gegenständen, Bildern und ähnlichen Gegenständen mittels des elektrischen Drahtes. Noch ist sie nicht gelungen; aber theoretisch scheint die Sache möglich und so wird die praktische Ausführung wohl nicht lange auf sich warten lassen.

VORLESUNG II

UEBER DEN AETHER UND SEINE FUNKTIONEN

Gehalten am 28. Dezember 1882 in der London Institution

Ich hoffe, dass keiner meiner Zuhörer durch den Druckfehler im Titel dieses Vortrages, den Wegfall des Artikels „der“ vor dem Worte „Aether“, auf den Gedanken gekommen sein wird, ich wollte Ihnen heute einen Vortrag chemischen Inhalts über das neueste Narkotisirungsmittel halten. Sie haben gewiss Alle verstanden, dass ich mit „Aether“ *den* Aether meine, und dass *der* Aether jenes hypothetische Medium ist, von dem wir annehmen, dass es den sonst leeren Weltraum erfülle.

Die Annahme eines solchen Aethers ist durchaus keine neue Idee. Seitdem der menschliche Geist in Folge astronomischer Entdeckungen den Begriff des unendlichen Weltraums zu fassen gelernt hat, musste die Frage entstehen: Was ist in diesem Raum enthalten?

Ist er gefüllt oder ist er leer? und diese Frage wurde durch die Metaphysiker auf verschiedene Weise beantwortet. Für die Einen war das Vacuum eine Unmöglichkeit, die nirgend bestehen könne, weil die Natur ein solches nicht dulde. Andere fanden, ein leerer Raum könne deshalb nicht bestehen, weil er einer leeren Blase gleich in sich zusammenfallen müsse, falls er nicht durch ein stoffliches Etwas auseinander gehalten werde. Mit andern Worten, das Vorhandensein von Materie war für diese die Bedingung der räumlichen Ausdehnung. Wieder Andere sagten, die Annahme eines Vacuum sei zwar sehr anfechtbar, müsse aber doch bestehen bleiben, weil nur im leeren Raum eine Fortbewegung der Weltkörper denkbar werde. Es würde, wenn der ganze Raum mit Materie gefüllt wäre, Alles fest zusammen gedrängt sein, sodass weder freie Anziehung noch freie Bewegung der Körper um einander stattfinden könne.

Es giebt auch heutigen Tages noch Physiker, die sich bei der Annahme beruhigen, die Materie bestehe aus kleinen, im umgekehrten Verhältniss ihrer Entfernungen aufeinander einwirkenden Theilchen: diese Forscher sind zufrieden, wenn eine Erscheinung als Fernwirkung durch den leeren Raum zu erklären ist. Weiter zu gehen oder tiefer in die Natur und die Ursache von solchen Wirkungen einzudringen, liegt nicht innerhalb ihres Strebens.¹⁾

¹⁾ Als Beispiel sei auf einen im Januarheft des Phil. Mag. 1883 erschienenen Artikel von Hrn. Walter Browne verwiesen.

Sollen metaphysische Folgerungen irgend welche Bedeutung oder Berechtigung haben, so werden sie immer ein unbewusster Appell an die Erfahrung sein müssen. Es besinnt sich z. B. Jemand darüber, ob gewisse Zustände für ihn begreiflich sind oder nicht; sind sie ihm *nicht* begreiflich, so kommt er a priori zu dem Schlusse, dass diese Zustände überhaupt nicht existiren. Der Schluss hat *einige* Berechtigung, aber ob viel oder wenig, hängt theils von dem Gegenstand der Frage, die einfach oder verwickelt sein kann, theils davon ab, über welchen Grad von geistiger Entwicklung und über welche Fülle von Erfahrung der Fragesteller verfügt.

Wenn ein Lehrsatz über eine verhältnissmässig einfache und grundlegende Materie, für einen geschulten Denker oder mehrere solcher absolut *undenkbar* erscheint, so ist dies ein Beweis dafür, — und zwar kann es als gültiger Beweis gelten, — dass dieser undenkbare Zustand nicht existirt, weil, wenn er existirte, er selbst oder etwas ihm Aehnliches in den Bereich der Erfahrung getreten sein müsste. Wir haben auch keinen anderen Beweis für den Satz, dass zwei gerade Linien nicht einen Raum einschliessen können, oder dass die Summe der Winkel eines Dreiecks gleich zwei rechten Winkeln ist.

Trotzdem ist ein solcher Schluss nicht endgültig, denn die Undenkbarkeit einer Sache beweist nur, dass etwas ihr Aehnliches noch nicht innerhalb unserer Erfahrung vorgekommen ist, und dieses beweist wieder

nichts über das Bestehen oder Nichtbestehen einer Sache, unsere Erfahrung von ähnlichen Dingen müsste denn so ausgedehnt sein, dass diese Sache, wenn sie überhaupt existirte, unmöglich hätte gänzlich übersehen werden können.

Die Erfahrung eines Kindes oder eines Hundes in Bezug auf alltägliche Naturerscheinungen bedeuten so viel wie nichts. Ebenso werthlos ist die Erfahrung der Menschheit gegenüber von erhabeneren Phänomenen, von denen sie bisher noch nichts weiss. Es wäre aber sehr thöricht und anmaassend, das Bestehen solcher Phänomene zu leugnen, nur weil sie uns unbegreiflich erscheinen. Sie müssen ja unbegreiflich sein.

Eine Erscheinung ist es vor Allem, mit der die Menschheit seit undenklichen Zeiten vertraut ist, und über welche sie grössere Mengen der Erfahrung angesammelt hat, als auf irgend einem anderen Gebiete: es ist dies *die Wirkung, die ein Körper auf einen anderen ausübt*; sowohl die Einwirkung von Kraft von einem Körper auf den anderen, als die Uebertragung von Bewegung und Energie von einem Körper auf den anderen, kurz, jede erdenkliche Art der Wirkung, die ein Körper auf einen anderen belebten oder unbelebten Körper hervorbringen kann. So die Wirkung eines Menschen auf den Baum, den er umhaut, auf den Speer den er wirft, auf den Bogen, den er spannt; so die Wirkung des Bogens auf den Pfeil, des Schiesspulvers auf die Kugel, des Pferdes auf den Wagen; ferner die

Wirkung der Erde auf den Mond, des Magneten auf das Eisen. Jede Art der Handlung, die wir mit Bewusstsein vollziehen, kann als Erläuterung für die Wirkung eines Körpers auf den anderen gelten.

Nun möchte ich, gestützt auf den ganzen Schatz unserer Erfahrungen, die Frage stellen: Ist nicht die direkte Wirkung eines Körpers auf den anderen durch den leeren Raum, ohne jede Möglichkeit des Verkehrs zwischen beiden Körpern, etwas absolut Udenkbares? Unsere Antwort kann nicht ohne Weiteres und nicht ohne das reiflichste Nachdenken erfolgen. Dann werden wir uns klar werden, dass eine Erscheinung uns einfach und verständlich vorkommt, sobald die Wirkung eines Körpers auf den anderen durch wahrnehmbare Berührung erfolgt ist; dass wir uns aber sofort und nothgedrungen nach einem verbindenden Medium umsehen, sobald die Wirkung eines Körpers auf den anderen scheinbar aus der Ferne erfolgt.

Tanzt eine Marionette, durch eine leitende Hand geführt, so wird jedes intelligente Kind sich nach dem führenden Drahte umsehen; kann es aber weder einen Draht noch etwas Entsprechendes entdecken, so wird es die ganze Sache unheimlich und spukhaft finden. Alle Zauberkünste vergangener Zeiten waren im Grunde genommen der Versuch, Wirkungen ohne die entsprechenden Ursachen herbeizuführen, Paläste zu bauen durch Drehen eines Ringes oder Reiben einer Lampe, Berge zu versetzen durch einen Wunsch, statt durch

Hacken und Spaten, und im Allgemeinen Wirkungen auszuüben, ohne jede wirkliche Verbindung zwischen den Dingen. Heutzutage glauben wir nicht mehr an dererlei Zaubereien und beweisen damit, dass die Menschheit jetzt die Ueberzeugung hat, Wirkungen ohne Ursache seien nicht denkbar und Wirkungen aus der Ferne unmöglich.

Wollte man für die Wirkung eines Pferdes auf einen Wagen die Erklärung geben, es bestehe eine Anziehung zwischen beiden, die nach einer hohen Potenz der Entfernung wirke — so würde man damit keine Unwahrheit sagen — man könnte ja die Thatsache auf diese Weise erklären, es wäre aber eine jämmerlich lahme Erklärung; und jeder, der einfach auf die Wagenspur zeigte, würde dem Grund der Sache viel näher kommen. Dasselbe beim Magneten und seiner Anziehung auf einen entfernten magnetischen Pol. Wenn man sagt, es bestehe eine Anziehung im umgekehrten Kubus der Entfernung zwischen beiden, so ist dies wohl wahr, aber es ist nicht die ganze Wahrheit, und wir wären sehr froh, wenn uns Jemand auch hier die Spur zeigte, denn wir fühlen, dass eine Spur vorhanden sein muss.

Man mag sich noch so sehr bemühen, sich eine klare Vorstellung zu machen, wie ein Körper auf einen andern wirkt, ohne dass ein Mittel zur Verbindung zwischen beiden vorhanden ist; man wird es aufgeben müssen. In den meisten Fällen sucht man unwillkürlich nach einem Medium; geschieht dies nicht immer, z. B.

nicht bei einem herabfallenden Gewicht oder bei magnetischer Anziehung, so rührt das daher, dass die Gewohnheit uns dumm und stumpf gemacht hat in Bezug auf die wirkliche Natur dieser Kräfte.

Wenn wir einen Wagen bergab rollen sehen ohne einen sichtbaren Motor, so müssten wir ihn eigentlich mit derselben staunenden Neugier betrachten, die ein Chinese in Chicago äusserte, als er den Wagen einer Seilbahn durch die Strassen fahren sah. Bei einem solchen Wagen liegt das Seil in einer unterirdischen Röhre. Das Verbindungsstück zwischen Wagen und Seil tritt durch einen engen Schlitz aus der Röhre und ist kaum sichtbar. Der Chinese betrachtete den Wagen eine Weile mit offenem Mund in starrem Erstaunen und that dann den denkwürdigen Ausspruch: „Nicht geschoben, nicht gezogen — fährt wie toll.“ Er war ein Philosoph, dieser Chinese!

Denken Sie daran: sobald wir etwas sich bewegen sehen, suchen wir nach dem Seile, sei es nun sichtbar oder unsichtbar; denn ohne Schieben und Ziehen ist eine Wirkung nicht möglich. Ueberlegen Sie ferner was „Ziehen“ bedeutet, so wird es sich als „Schieben“ erweisen. Um einen Gegenstand zu sich heranzuziehen, müssen Sie den Finger dahinter legen und ihn heranschieben; man sagt von einem Pferd, es „ziehe“ einen Wagen, thatsächlich „schiebt“ es die Halfter; eine Lokomotive schiebt einen Wagen mittels eines Hakens und einer Oese — und so weiter.

Es besteht ferner die sehr wichtige und schwierige Frage, warum die Theile eines Körpers zusammenhängen, und warum, wenn Sie einen Theil vorwärts schieben, die übrigen Theile nachfolgen. Die Kohäsion ist eine sehr auffallende Thatsache, und eine Erklärung wäre sehr zu wünschen. Ich werde späterhin noch Einiges über diesen Gegenstand zu sagen haben, für jetzt haben wir uns damit zu begnügen, von der Richtung, in der eine Erklärung möglich erscheint, Kenntniss zu nehmen. Wir können nicht eingehender über jene uns noch unbekanntem Wirkungen sprechen; aber in Bezug auf solche, die verhältnissmässig einfach und verständlich sind, dürfen wir den allgemeinen Satz aufstellen: Die einzige Art der direkten Einwirkung auf einen Körper besteht darin, dass man ihn von hinten schiebt.

Ehe zwei Körper auf einander einwirken können, muss Kontakt zwischen ihnen stattfinden; und wenn sie nicht in direktem Kontakt mit einander sind, müssen sie in Kontakt mit einem dritten Körper stehen, der das Verbindungsmittel zwischen ihnen — das Seil — bildet.

Denken Sie sich nun einmal den schwierigsten Fall, dass ein lebendiger Körper auf einen andern einwirkt, ohne ihn zu berühren. Um z. B. die Aufmerksamkeit eines Hundes zu erregen, giebt es verschiedene Methoden. Erstens kann man ihn mit einem Stock berühren, zweitens kann man einen Stein nach ihm werfen, drittens kann man ihn rufen oder ihm pfeifen,

viertens ihn durch eine Geste oder ein Zeichen heranzulocken, oder, was auf dasselbe herauskommt, mittels eines Spiegels einen Sonnenstrahl in sein Auge lenken. Bei den beiden ersten Methoden sind die Media sehr wahrnehmbare, der Stock und der Stein; bei der dritten Art, dem Rufen und Pfeifen, ist das Medium nicht sichtbar und einem Wilden könnte der Fall wie eine Wirkung aus der Ferne erscheinen; uns ist natürlich bekannt, dass die Luft das Medium ist, und dass, wenn sie entfernt würde, die Möglichkeit einer Mittheilung mit Hülfe des Schalles aufhören würde. Dagegen wird die Brauchbarkeit der vierten oder optischen Methode mit dem Fehlen der Luft nicht aufhören, denn der Hund kann im luftleeren Raum vollkommen gut sehen, wenngleich er nicht hören kann; welches Medium ihm hier den Eindruck übermittelt, wissen wir viel weniger sicher. Mittels eines solchen Mediums wird der Erde das Sonnenlicht durch den leeren planetarischen Raum zugeführt.

Die einzigen noch übrigen typischen Methoden auf den Hund einzuwirken, wären die elektrische oder magnetische Anziehung oder der thierische Magnetismus. Ich hoffe, Sie würden sich auch hierbei nach einem Medium, das die Eindrücke übermittelt, umsehen, in der Gewissheit, dass hier, wie in den früheren Fällen, ein solches vorhanden sein müsse.

Lassen wir aber diese subtilen und geheimnissvollen Kommunikationsmittel bei Seite und kehren wir zu den

zwei einfachsten — dem Stock und dem Stein — zurück. *Diese beiden vertreten die einzigen fundamentalen Formen der Verbindung zwischen räumlich von einander entfernten Körpern.* Wir sind zu der Annahme gezwungen, dass jede verborgene Wirkung sich schliesslich als zur einen oder andern dieser beiden Formen gehörig erweisen wird. Der Stock vertritt die Verbindung durch die Kontinuität der Substanz, der Stein die Verbindung durch thatsächliche Fortführung von Stoff, oder, wie ich den Vorgang nennen will, die Projektil-Methode. Wir kennen keine andern Arten für die Wirkung eines Körpers auf den andern, als diese: entweder durch die Kontinuität der Substanz oder durch Projektile.

Ein anschauliches und wohlbegründetes Beispiel der Projektil-Methode ist uns bekannt: die Fortpflanzung eines *Druckes* durch Gase. Ein Gas besteht aus vollkommen unabhängigen Theilchen, und die einzige Art, wie diese gegenseitig auf einander wirken können, besteht in *Stössen*. Der Luftdruck ist ein Bombardement von Theilchen, und die Einwirkungen werden innerhalb der Gase wie durch eine Reihe von Elfenbeinkugeln weitergeführt. Die Fortbewegung des Schalles findet in der Weise statt, dass jedes Theilchen einen Anstoss empfängt, den es dem nächsten weiter giebt, und die Schlusswirkung ist ziemlich dieselbe, als ob das zuerst angestossene Theilchen durch die ganze Entfernung geschleudert worden wäre.

Diese Erklärung für das Verhalten der Gase ist

so einfach und befriedigend und überdies so sicher richtig, dass wir uns wohl die Frage vorlegen dürfen, ob diese Theorie der Projectile nicht den Schlüssel zum ganzen Weltall abgeben könne? Ob nicht jede mögliche Art der Wirkungen zurückgeführt werden dürfe auf die Hypothese, dass die Atome sich in allen erdenklichen Richtungen vollkommen willkürlich umhertreiben, dass sie vollkommen unabhängig von einander sind, ausser wenn ein Zusammenstoss zwischen ihnen erfolgt? Wir haben auch bereits Atom-Theorien für das Licht und für die Gravitation; beide erklären die betreffenden Phänomene durch das Bombardement von Theilchen. Eine solche Atom-Theorie bietet jedoch für die Schwerkraft viele Schwierigkeiten, denn sie zeigt nicht, warum z. B. das Gewicht eines Tellers dasselbe bleibt, einerlei, ob er längs oder quer in den Strom der Atome gebracht wird; auch ist es verwunderlich — bei dieser wie bei jeder anderen Theorie — dass das Gewicht eines Körpers in festem, flüssigem und gasförmigem Zustand unverändert bleibt. Man hat das Problem der Kohäsion durch dieselbe Hypothese zu erklären versucht; allein, waren die Schwierigkeiten vorher schon gross genug, so wurden sie durch diese Erklärung einfach unabsehbar. Meiner Ansicht nach ist es nur mit Hülfe einer unwahrscheinlichen und gänzlich verdrehten Hypothese möglich, alle Wirkungen im Weltall auf ein blosses Zusammenprallen kleinster Theilchen zurückzuführen.

Auch ist es schwer zu fassen, welcher Art die Atome sein sollen und wie sie an- und voneinander prallen sollen, ohne dem Druck nachzugeben und ohne dann wieder zurückzuspringen wie elastische Kugeln. Es ist diese Elasticität äusserst harter Theilchen kaum begreiflich. Wenn aber die Atome nicht wirklich hart sind, sondern elastisch und nachgiebig, wenn sie nach demselben Gesetze wie Elfenbeinkugeln von einander abprallen, woraus sollen sie dann bestehen? Wir werden wieder von vorne anfangen müssen, um die Kohäsion und Elasticität der einzelnen Theile eines Atoms zu erklären.

Je mehr wir über den Gegenstand nachdenken, desto weniger können wir die Annahme festhalten, der Stoss sei eine genügende Erklärung für alle Wirkungen. Lassen wir aber die Annahme fallen, so müssen wir zu der anderen Hypothese — der einzigen, die uns bleibt — greifen: dass alle Verbindung durch ein kontinuierliches Medium stattfindet.

Wir müssen damit anfangen, ein solches kontinuierliches Medium zwischen den Theilchen zu denken: Eine Substanz, in der die Theilchen eingebettet sind, die in sämtliche Zwischenräume der Theilchen eindringt und ausserhalb bis an die äussersten Grenzen des Raums reicht. Dieses zugegeben, werden die Schwierigkeiten rasch verschwinden. Wir haben jetzt den dauernden Kontakt zwischen den Theilchen der Körper; empfängt eines

derselben einen Anstoss, so wird den anderen naturgemäss die Bewegung mitgetheilt. Die Gasatome stossen nach wie vor aneinander an; der Stoss hat nun aber eine andere Bedeutung für uns.

Die Schwerkraft wird erklärlich durch Druckunterschiede innerhalb des Mediums, hervorgerufen durch eine noch unverständliche Wirkung zwischen diesem und der Materie (siehe S. 460). Auch die Kohäsion ist wahrscheinlich auf solche Weise zu erklären.

Das Licht besteht in Schwingungen oder Wellen im Medium; und die Wahrscheinlichkeit wächst, dass Elektrizität eine Erscheinungsart eines Theiles des Mediums selbst ist.

Alle modernen Physiker haben das Medium als eine Nothwendigkeit anerkannt, denn ohne ein solches tasten wir völlig im Dunkeln, mit dem Medium aber haben wir eine Lösung, die, wenn wir sie richtig verwerthen, uns vielleicht in die innersten Geheimnisse der Natur einführen wird. Zwar ist bis jetzt diese Theorie noch wenig ausgebaut, ich möchte jedoch versuchen, Ihnen wenigstens die Richtung zu zeigen, in der die heutige Wissenschaft arbeitet.

Es ist ziemlich gleichgültig, welchen Namen wir diesem Medium geben, aber die Bezeichnung „Aether“ ist so gut wie irgend eine andere.

So viel wir wissen, scheint dieser Aether ein vollkommen homogener, inkompressibler, zusammenhängender Körper zu sein, der sich nicht in einfache Elemente

oder Atome auflösen lässt; er ist thatsächlich kontinuierlich, nicht molekular. Wir kennen keinen andern Körper, dem wir diese Eigenschaft zuschreiben könnten, daher muss der Aether etwas Anderes sein als gewöhnliche Materie. Es wird uns nicht sehr schwer werden, uns eine kontinuierliche Substanz vorzustellen, denn auch die molekulare und poröse Beschaffenheit der gewöhnlichen Materie ist für unsere Sinne nicht wahrnehmbar; wir kennen sie nur in Folge einer ziemlich schwierigen Schlussfolgerung.

Der Aether ist theils als Fluidum, theils als Flüssigkeit und theils auch als fester Körper bezeichnet worden; man hat ihn seiner Unnachgiebigkeit wegen mit einer gallertartigen Masse verglichen; aber alle diese Namen taugen nicht viel; sie dienen sämmtlich für molekulare Zusammensetzungen und sind daher auf den Aether nicht anwendbar. Denken wir einfach und ausschliesslich an ein zusammenhängendes, reibungsloses, mit Beharrungsvermögen ausgestattetes Medium. Das Unbestimmte dieses Begriffes wird bei der Unvollkommenheit unseres heutigen Wissens gerade das Richtige sein.

Suchen wir nun die Idee einer vollkommen zusammenhängenden, feinen, inkompressiblen Substanz in uns zu gestalten. Sie erfüllt den ganzen Raum, dringt zwischen die Molekeln aller Materie, bettet diese Molekeln in sich ein und verbindet sie unter einander. Wir haben sie uns als das *eine allumfassende* Medium zu denken,

durch das sich alle Wirkung zwischen den Körpern vollzieht. Seine Funktion besteht darin, alle Bewegung und Energie zu übertragen.

Beschäftigen wir uns zunächst mit der Fortpflanzung des Lichtes.

Der Schall wird durch Bewegung und direkten Zusammenstoß von Atomen der gewöhnlichen Materie fortgepflanzt. Beim Licht ist dies nicht der Fall. Wie wissen wir das?

1) Durch seine Geschwindigkeit, die 3×10^{10} cm pro Sekunde beträgt. Gewöhnliche Materie kann diese Geschwindigkeit nicht erreichen.

2) Durch die Art seiner Schwingungen, wie diese in den Erscheinungen der Polarisierung zu Tage treten.

Die Schwingungen des Lichtes sind nicht derart, dass sie durch eine Anzahl einzelner Molekeln mitgeteilt werden können. Sollten Molekeln überhaupt damit zu thun haben, so müssten es solche sein, die zu einem festen, d. h. starren Körper vereinigt sind. Unter Starrheit verstehen wir Widerstand gegen zerrende oder scheerende Spannung, d. h. gegen Veränderung der Form. Man nennt sie auch *Formelastizität*. Dadurch dass er die Eigenschaft der Starrheit besitzt, unterscheidet sich ein fester Körper von einer Flüssigkeit. Um Schwingungen überhaupt mittheilen zu können, muss ein Körper Beharrungsvermögen besitzen; transversale Schwingungen im Besonderen können nur durch einen starren Körper mitgeteilt werden. Alle Materie

besitzt Beharrungsvermögen, allein Flüssigkeiten besitzen nur Elasticität des Volumens und können deshalb nur Longitudinalschwingungen mittheilen. Licht besteht aus transversalen Schwingungen. Nun sind aber Luft und Wasser nicht starr und sind trotzdem durchlässig für transversale Schwingungen, d. h. sie übertragen sie; also muss es der Aether in ihrem Innern sein, der die Bewegung thatsächlich weiterführt, und der Aether muss Eigenschaften besitzen, die wir bei gewöhnlicher Materie *Beharrungsvermögen* und *Starrheit* nennen würden. Auch die allerdünnste Luft kann diese Eigenschaften nicht besitzen, also muss der Aether ein besonderer Körper sein. Allerdings kann Luft im planetarischen Raum, ja sogar in der Unendlichkeit, *vorhanden* sein, wenn aber, dann ist sie fast unendlich verdünnt im Verhältniss zum Aether. Die Dichtigkeit der Atmosphäre auf jeder beliebigen Höhe über der Erdoberfläche ist leicht zu berechnen, sobald man annimmt, dass keine Körper vorhanden sind und die Temperatur konstant ist. (Alle folgenden Zahlenangaben sind in C.G.S.-Einheiten gemacht.)

Die Dichtigkeit der Atmosphäre in einer Entfernung von n Erdradien vom Erdmittelpunkte, ist gleich einem Viertel der Dichtigkeit hier, dividirt durch $10^{350 \frac{n-1}{n}}$.

Danach würde die atmosphärische Dichtigkeit schon in der Höhe von 6000 Kilometern über der Erdoberfläche eine Summe ergeben mit 127 Stellen hinter dem

Komma, ehe nur die wirklichen Zahlen beginnen.¹⁾ Andererseits hat Sir William Thomson die Dichtigkeit des Aethers berechnet nach den Ergebnissen der Pouillet'schen Versuche über die Energie des Sonnenlichtes, und nach einer zu rechtfertigenden Annahme über die Schwingungswerte. Danach beträgt die Dichtigkeit des Aethers ungefähr 10^{-22} , ein Werth mit nur etwa 21 Stellen vor den wirklichen Zahlen. Die Luft, die im planetarischen Raum vorhanden ist, kommt somit garnicht in Betracht; die Dichtigkeit des dort vorhandenen Aethers ist, obwohl an sich gering, im Vergleich zu ihr doch ungeheuer. (Siehe auch S. 293.)

Nachdem so die Dichtigkeit des Aethers einmal gegeben ist, folgt dessen Starrheit unmittelbar daraus. Denn das Verhältniss der Starrheit zur Dichtigkeit ist das Quadrat der transversalen Wellengeschwindigkeit, also für den Aether $(3 \times 10^{10})^2$. Folglich beträgt die Starrheit des Aethers 9×10^{-2} d. h. ungefähr $\frac{1}{11}$. Der starrste feste Körper, den wir kennen, ist Stahl; verglichen mit dessen Starrheit, die 8×10^{11} beträgt, ist die des Aethers verschwindend. Aber weder Stahl

¹⁾ Ich habe diese Behauptung hier stehen lassen, denn es ist eine von grosser Autorität getragene Idee, dass die Atmosphäre keine Grenze habe. Mir will es dagegen viel vernünftiger erscheinen anzuehmen, dass bei einer gewissen Höhe, (die unter der Annahme eines durch vollständige Mischung d. h. Konvektion bedingten Gleichgewichtszustandes 26—27 Kilom. beträgt, wahrscheinlich aber wegen der grossen Zähigkeit der Luft viel grösser ist) eine freie Oberfläche existirt, wenn auch mit sehr geringer Dichtigkeit.

noch Glas könnten, ihrer grossen Dichtigkeit wegen, Schwingungen übertragen, deren Geschwindigkeit annähernd so gross wäre, wie die des Lichtes. Crownglas kann transversale Schwingungen mit der Geschwindigkeit von einer halben Million Centimeter pro Sekunde verbreiten, was immerhin eine beträchtliche Geschwindigkeit ist. Die des Aethers innerhalb von Glas ist jedoch 40 000 Mal grösser, beträgt somit 20 000 Mill. Centimeter pro Sekunde.

Der Aether ausserhalb des Glases leistet noch mehr; denn hier beträgt die Geschwindigkeit 30 000 Millionen pro Sekunde. Nun entsteht die Frage: Was geht mit dem Aether im Innern des Glases vor, damit die Fortpflanzung der Wellen um ein Drittel hinter der normalen Geschwindigkeit zurückbleibt? Ist der Aether dichter oder ist er weniger starr als freier Aether geworden? Dieses ist schwer zu sagen, jedenfalls aber steht fest, dass der Aether irgendwie durch die unmittelbare Nachbarschaft von grober Materie beeinflusst wird. Es scheint, dass er im Innern derselben im Verhältniss zur Dichtigkeit der Materie verdichtet wird. Fresnel stellte die Hypothese auf, dass der Aether im Innern der Materie thatsächlich dichter sei, dass eine Art von Anziehung zwischen dem Aether und den Molekeln der Materie bestehe, welche eine Anhäufung oder ein Festhalten von Aether rings um jedes Atom herbeiführe, und dass dieser neu hinzukommende oder gebundene Aether zur Materie gehöre und mit ihr vereint

sich bewege. Die *Starrheit* ist nach Fresnel dieselbe bei gebundenem wie bei freiem Aether; eine Ausnahme findet nur bei einigen Krystallen statt.

Wenn man sich etwas Derartiges überhaupt vorstellen kann, so fällt es nicht schwer, die verhältnissmässige Dichtigkeit des gebundenen Aethers zu bestimmen. Denn das umgekehrte Verhältniss der Geschwindigkeiten des Lichts ist n (der Brechungsindex); und die Dichtigkeit verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Geschwindigkeit; daher ist das Dichtigkeitsmass n^2 . Setzt man die Dichtigkeit des Aethers im freien Raum gleich 1, so ist die Dichtigkeit des Aethers im Innern der Materie gleich n^2 , und die Dichtigkeit der gebundenen Theile des Aethers $n^2 - 1$.

Dies Alles mag sehr phantastisch klingen, aber irgend eine derartige Thatsache, wenn auch wahrscheinlich nicht genau die hier auseinandergesetzte, liegt gewiss den Dingen zu Grunde. Wenigstens ist die Thatsache genügend festgestellt und durch direkte Versuche erwiesen, dass der $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ betragende Theil des im Innern der Materie befindlichen Aethers an diese gebunden ist und sich mit ihr bewegt, während der übrige, $\frac{1}{n^2}$ betragende Theil frei ist und frei durch alle Poren dringt (§ 118).

Ueberlegen Sie sich den Einfluss des Windes auf den Schall. Der Schall geht durch die Luft mit einer

gewissen endlichen Geschwindigkeit, die davon abhängt, wie gross die durchschnittliche Geschwindigkeit der umherfliegenden Atome ist und wie schnell daher diese Atome den empfangenen Stoss weiterzugeben vermögen. Trägt ein Wind sämmtliche Atome in einer bestimmten Richtung fort, so wird sich der Schall nach dieser Richtung schneller fortpflanzen als nach der entgegengesetzten. Die Fortpflanzung des Schalles erfolgt also rascher mit dem Wind als gegen ihn. Ist es beim Licht ebenso? Geht das Licht auch schneller mit dem Wind? Das wird ganz davon abhängen, ob der Aether mit der Luft fortgerissen wird. Ist dem so, so wird seine Bewegung dem Licht etwas vorwärts helfen; bleibt der Aether aber in Ruhe, so vermag weder die Bewegung der Luft noch die der Materie das Licht irgendwie zu beeinflussen. Nach Fresnel's Hypothese befindet sich der Aether jedoch weder gänzlich in Ruhe noch gänzlich in Bewegung. Der freie Aether ist in Ruhe; der gebundene in Bewegung, und deshalb muss zu der Geschwindigkeit des Lichtes, das mit dem Winde geht, $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ von der Geschwindigkeit des Windes hinzuaddirt werden — eine unendlich kleine Zahl in Bezug auf Luft, deren n kaum grösser ist als 1. Bei Wasser jedoch beträgt der Antheil $\frac{7}{16}$, und Fizeau hielt es daher für möglich, ihn nachzuweisen. Mittels eines fein ersonnenen und erfolgreich durchgeführten Versuchs gelang es ihm, den Beweis zu liefern, dass, wenn Licht mit einem

Wasserstrom geht, $\frac{7}{16}$ von der Geschwindigkeit des Wassers zu der des Lichtes hinzukommen; geht das Licht gegen den Strom, dann muss dieselbe Menge subtrahirt werden und wir erhalten als Resultat die wirkliche Geschwindigkeit des Lichtes im freien Raum.

Arago schlug einen anderen Versuch vor. Licht, das durch ein Prisma fällt, wird von seiner Bahn abgelenkt, weil seine Geschwindigkeit innerhalb des Glases vermindert wird; die Grösse der Ablenkung hängt genau ab von der Verzögerung. Man denke sich nun ein schnell durch den Raum dahingetragenes Prisma, das dem schnellsten uns zugänglichen Transportmittel, der Erddrehung, folgend, sich mit einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Sekunde fortbewegt. Strömt der ganze Aether frei durch das Glas, so wird das durch das Prisma fallende Licht weniger aufgehalten werden, wenn es mit dem Aether, als wenn es gegen den Aether geht, und die Ablenkung muss eine verschiedene sein.

Maxwell unternahm diesen Versuch in sehr sorgfältiger Weise, konnte jedoch keine Differenz finden. Wäre der gesammte Aether frei, so müsste eine Differenz sich zeigen; wäre der gesammte Aether gebunden, so müsste eine entgegengesetzte Differenz vorhanden sein. Nach Fresnel's Hypothese darf jedoch gar keine Differenz gefunden werden, denn hiernach ruft ja nicht der freie Aether, der sich in relativer Bewegung be-

findet, sondern der gebundene Aether die Brechung hervor. Dieser aber befindet sich relativ zum Glase in Ruhe und durchströmt es gar nicht. Danach bleibt die Brechung dieselbe, gleichviel ob das Prisma ruhig da liegt oder ob es sich durch den Weltraum bewegt.¹⁾

Ein in den Aether eingebettetes Atom schwingt und sendet Wellen nach allen Richtungen aus; die Wellenlänge hängt von der Schwingungsperiode ab, und verschiedene Wellenlängen erwecken verschiedene Farbeindrücke. Durch den freien Aether scheinen sich alle Arten von Wellen mit derselben Geschwindigkeit fortzubewegen, nicht aber durch den gebundenen Aether. Innerhalb der Materie werden die kurzen Wellen mehr verzögert als die langen; deshalb können die verschiedenen Wellenlängen mittels eines Primas ausgesondert werden. Ein freies Atom besitzt seine eigene Schwingungsperiode, ähnlich wie eine Stimmgabel sie besitzt, und demzufolge sendet es Licht von einer oder von einigen wenigen bestimmten Farben aus, genau wie

¹⁾ Einige derartige Versuche sind in letzter Zeit mit vollendeter Geschicklichkeit und mittels sehr feiner Instrumente durch Herrn Michelson in Amerika durchgeführt worden. Sie ergeben sämmtlich die vollständige Richtigkeit des Fizeau'schen Versuches und der Fresnel'schen Theorie. Andere Versuche, die sich auf die Theorie der Aberration und der Bewegung des Aethers in der Nähe der Erde beziehen, ergaben Resultate, die noch unverständlich und mit unseren bisherigen Begriffen und Annahmen unvereinbar sind. (Siehe Nature Band 45 S. 499, „Aberration“.)

eine Stimmgabel einen bestimmten Klang oder mehrere bestimmte Klänge, sogenannte „harmonische Töne“, ausendet. Nach der Tonhöhe lässt sich die Schwingungszahl der Stimmgabel bestimmen, nach der Farbe des Lichtes die Zahl der Atomschwingungen.

Wenn wir von schwingenden Atomen reden, so wollen wir damit nicht sagen, dass sie als ein Ganzes hin und her schaukeln; wahrscheinlicher ist es, dass sie sich biegen und dass sie wie eine Stimmgabel oder eine Glocke vibriren; wir wissen das, weil es leicht ist, die freien Atome eines Gases vibriren zu lassen. Wir können überhaupt die Schwingungen der Atome nur im gasförmigen Zustand erforschen; sind sie fest an einander gelagert in flüssigem oder festem Zustande, so sind sie behindert, und allerhand sekundären Schwingungen unterworfen. Auch dann schwingen die Atome ohne Zweifel hin und her — und thatsächlich werden diese erzwungenen Schwingungen in jeder erdenklichen Weise ausgeführt — aber die einfache Schwingungsperiode des freien Atoms geht verloren.

Um das Verhalten der freien Atome zu studiren, nehmen wir ein möglichst verdünntes Gas. Wir erwärmen es und scheiden alsdann die Wellen aus, die es im Aether erregt, dadurch, dass wir ein dreiseitiges Prisma gebundenen Aethers in ihre Bahn bringen.

Warum der gebundene Aether verschiedene Wellen in verschiedener Weise verzögert und damit das Licht

„dispergent“ macht, das wissen wir nicht; nur so viel ist uns bekannt, dass ein Verhältniss zwischen der Grösse der Atome und der Grösse der Wellen besteht; dass die Atome sich am besten mit den kleinsten Wellen vergleichen lassen, und dass sie deshalb am stärksten auf diese einwirken. Es ist schon nicht leicht die Erscheinung der Brechung zu erklären; das Verständniss der Dispersion aber bietet ganz ausserordentliche Schwierigkeiten. Da jedoch die Thatsache selbst feststeht, so wird gewiss auch das Dunkel der Theorie über kurz oder lang erhellt werden.

Die Analyse durch das Prisma liefert den Beweis, dass jedes Atom der Materie seine eigene Schwingungszahl hat, genau wie jede Glocke. Es kann mehrere Farben aussenden, oder nur eine einzige, vielleicht hängt die Anzahl der ausgesendeten Farben davon ab, wie viel Anstösse (oder Wärme) es erhält; jedenfalls aber besteht seine Ausstrahlung in einer vollkommen bestimmten Auswahl und ist von der früheren Geschichte des Atoms ganz unabhängig. So zeigt jedes freie Natriumatom stets dieselbe Schwingungsart und hat sie stets gezeigt, gleichviel ob es zeitweilig mit irgend einem andern Element verbunden war, und gleichviel ob es auf der Sonne, der Erde oder auf dem fernsten Fixstern vorkommt. Dasselbe ist der Fall bei jeder andern Art der Materie; eine jede hat ihre eigene Art der Schwingung, die nur durch chemische Bindung verändert werden kann. Aus diesen Thatsachen ist die

Spektralanalyse hervorgegangen, jene neue Art der chemischen Analyse, welche Substanzen durch die einfache Beobachtung der Schwingungsverhältnisse ihrer freien Atome auffindet.

Die Atome sind winzige Körper; deshalb vollziehen sich ihre Schwingungen mit unermesslicher Geschwindigkeit.

Ein Natriumatom macht 5×10^{14} Schwingungen pro Sekunde, mit andern Worten es vollzieht fünfhundert Millionen Schwingungen in dem milliontel Theil einer Sekunde.

Es ist dies eine mittlere Geschwindigkeit; die ausgesandten Wellen wirken als tiefes Gelb auf das Auge.

4×10^{14} entspricht dem rothen, 7×10^{14} dem blauen Licht.

Ein Wasserstoffatom hat drei verschiedene Schwingungsperioden nämlich 4.577, 6.179 und 6.973, deren jede mit der unvermeidlichen Zahl 10^{14} zu multiplizieren ist.

Möglicher Weise vollziehen die Atome auch langsame Schwingungen; allein unsere Netzhaut ist für Eindrücke solcher langsamen Schwingungen nicht empfindlich. Herr Abney hat jetzt eine Methode gefunden, auf photographischem Wege langsamere Schwingungen festzuhalten und sie auf solche Weise indirekt sichtbar zu machen. Wir dürfen also hoffen, ein viel weiteres

Gebiet der Atombewegung, als das der bloß optischen, beobachten und kennen zu lernen.¹⁾

Der Unterschied zwischen freiem und gebundenem Aether macht sich uns noch anders als durch Lichterscheinungen bemerklich. Wenn wir zur Elektrizität kommen, werden wir finden, dass mit einigen Arten der Materie mehr Elektrizität verbunden ist als mit andern, so dass wir bei einer gegebenen elektromotorischen Kraft eine grössere elektrische Verrückung haben, dass also bei gewissen Arten der Materie die Elektrizität dichter ist als bei anderen. Die Dichtigkeit der Elektrizität im Raum setzt man gleich 1; die Dichtigkeit im Innern der Materie bezeichnet man mit K und nennt sie ihre spezifische Induktionskapazität. In der Optik war die relative Dichtigkeit des Aethers im Innern der Materie n^2 , das Quadrat des Brechungsindex (S. 449). Beide Grössen scheinen dieselben zu sein.

Ist der Aether also Elektrizität? Ich sage nicht Ja, glaube auch nicht, dass in dieser allgemeinen Behauptung die Wahrheit liegt; aber dass eine Beziehung zwischen beiden vorhanden ist, kann nicht bezweifelt werden.

Was mir vorschwebt, geht dahin, dass positive und

¹⁾ Noch mehr Erwartungen dürfen wir an die modificirte Linienthermosäule oder das Siemens'sche Pyrometer knüpfen, das durch Herrn Langley weiter entwickelt und zu einer Reihe von Untersuchungen verwendet wurde. Langley gab ihm den Namen „Bolometer“. Ferner an das noch neuere Radio-Mikrometer von Herrn Boys.

negative Elektrizität zusammen vielleicht den Aether bilden, oder dass der Aether durch elektromotorische Kräfte vielleicht in positive oder negative Elektrizität auseinandergespalten wird. Scheernde Kräfte übertragen transversale Schwingungen in Materie, die Widerstand leistet oder Starrheit besitzt. Der gebundene Aether innerhalb eines Leiters hat keine Starrheit und kann dem Scheeren nicht widerstehen. Ein derartiger Körper ist undurchsichtig. Durchsichtige Körper sind solche, deren gebundener Aether der scheerenden Spannung Widerstand leistet und zurückspringt. Solche Körper sind dielektrisch.

Wir besitzen keinen direkten Weg, um eine Kraft auf den Aether auszuüben; dagegen ist eine sehr indirekte Einwirkung möglich, weil wir die Materie derart anzuordnen verstehen, dass sie auf den mit ihr verbundenen Aether die nöthige scheernde (oder elektromotorische) Kraft ausübt. Wenn eine solche elektromotorische Kraft kontinuierlich auf den Aether in Metallen einwirkt, so entsteht ein kontinuierlicher und kaum auf Widerstand stossender Strom von beiden Elektrizitäten in entgegengesetzter Richtung oder ein Konduktionsstrom.

Wirkt dagegen eine elektromotorische Kraft kontinuierlich auf den Aether in durchlässigen Körpern, so entsteht eine elektrische Verrückung, begleitet von elastischem Zurückgleiten und damit allen Erscheinungen der elektrischen Induktion (siehe Kap. III).

Gewisse chemische Verbindungen, die aus zweitheiligen Molekeln bestehen, *zertheilen* den gebundenen Aether der einzelnen Molekel, wenigstens sobald sie durch Dissociation gespalten ist. Statt dass jedes entstehende Radikal oder Atom etwas neutralen Aether mitnähme, nimmt das eine Atom eine gewisse bestimmte Menge positiver, das andere dieselbe Menge negativer Elektrizität mit. Im flüssigen Zustande sind die Atome im Stande, sich zu bewegen, und eine kontinuierlich auf den Aether ausgeübte scheerende Kraft ruft in solchen Flüssigkeiten eine fortgesetzte Wanderung von der mit Elektrizität verbundenen Materie hervor; die positive zieht in der einen, die negative in der anderen Richtung und damit sind alle Erscheinungen der Elektrolyse gegeben (Kap. IV).

Was ich hier über Elektrizität sage, darf nur *cum grano salis* genommen werden. Sie dürfen diese Ansichten nicht als anerkannte Wahrheit, sondern nur als mein Suchen nach einer Anschauung betrachten, die mehr oder weniger, vielleicht eher weniger als mehr, mit den Thatsachen im Einklang steht. Ich kann nur sagen, dass diese Anschauung Thatsachen in Zusammenhang bringt und dass sie auf verschiedenen Wegen sich mir aufgedrungen hat.

Ist nun der Aether im freien Weltraume ein Leiter für Elektrizität? Gewisse Thatsachen deuten darauf hin, dass dem so ist, und Edlund z. B. sagt geradezu, er sei ein fast vollkommener Leiter. Wem ein Sonnenfleck

oder eine andere Störung auf der Sonne entsteht, was zweifelsohne unter heftigen elektrischen Stürmen stattfindet, so wird der elektrische Zustand der Erde dadurch beeinflusst; wir haben dann Nordlichter und magnetische Störungen. Ist dies eine Induktion durch den Weltraum? Oder kann man diese Erscheinungen der Leitung und zwar dem Umstand zuschreiben, dass vielleicht ein mikroskopischer Theil eines abgezweigten Stromes in unser Bereich gerathen ist?

Was mich betrifft, so kann ich den Aether nicht als elektrischen Leiter ansehen. Maxwell hat gezeigt, dass ein Leiter undurchsichtig sein muss, und der Aether ist vor allen Dingen durchsichtig. Wir wären also zu der Schlussfolgerung genöthigt, dass dasjenige, was wir Leitung nennen, nur bei Vorhandensein von gewöhnlicher Materie vor sich gehen kann, oder mit anderen Worten, dass dieses Phänomen eher mit dem gebundenen als mit freiem Aether verknüpft ist.

Wenn wir nun zurückkehren zu der Fresnel'schen Theorie, wonach der Aether im Innern von grober Materie besondere Dichtigkeit besitzt, und auch zur Thatsache, dass der Aether inkompressibel ist, so entsteht naturgemäss die Frage: Wie kann der Aether durch Materie oder etwas Anderes verdichtet werden? Vielleicht geschieht dies nicht, vielleicht zieht die Materie den Aether nur an sich und vermindert damit sozusagen seine Spannung im Innern der Körper, ohne irgend eine wirkliche Zunahme von Dichtigkeit hervorzurufen.

Etwas derartiges wäre nach der Undulationstheorie von Mac Cullagh der Fall. Hierdurch lässt sich auch die Schwerkraft theilweise erklären; denn zwei Körper, die solchermassen am Aether zerren, werden dazu neigen, sich gegenseitig zu nähern. Schon Newton hat in einer der Fragen, welche den späteren Ausgaben seiner „Optick“ als Anhang beigegeben sind, leise angedeutet, dass Gravitation entstehn würde, wenn die Materie eine Art von Druck auf den allenthalben vorhandenen Aether auszuüben vermöchte, und wenn der Druck im umgekehrten Verhältniss zur Entfernung wirken könnte. (Siehe Anhang.)

Newton verfolgte den Gedanken nicht weiter, denn damals standen ihm keine Thatsachen zu Gebote, um ihm die Existenz des Aethers zu beweisen oder ihm über dessen Eigenschaften Näheres zu sagen. Heute haben wir nicht nur die Gewissheit, dass ein Aether besteht, sondern wir wissen auch Einiges über seine Eigenschaften. Auch haben wir durch Licht und Elektrizität gelernt, dass eine Beziehung zwischen Materie und Aether besteht, obgleich wir weder wissen warum, noch wie die Vorgänge beschaffen sind. Ich habe aber die Ueberzeugung, dass dies die Richtung ist, in welcher die schliessliche Erklärung von Gravitation und Kohäsion gefunden werden wird.

Wenn man über die Undulationstheorien von Fresnel und Mac Cullagh nachdenkt und beide zu der dringend

erforderlichen Uebereinstimmung zu bringen wünscht, so fragt man sich unwillkürlich, ob denn wirklich ein so grosser Unterschied zwischen Materie und Aether besteht, wie wir ihn bisher stillschweigend angenommen haben? Wäre es nicht möglich, dass beide nur verschiedene Modifikationen oder Manifestationen eines und desselben Dinges sind?

Und wiederum, wenn wir von schwingenden Atomen sprechen, wie können sie schwingen? und woraus setzen sich ihre Theile zusammen?

Nun gelangen wir zu einer der bedeutungsvollsten und merkwürdigsten Spekulationen der Neuzeit, einer Spekulation, die auf der experimentellen Thatsache beruht, dass die Elasticität eines festen Körpers erklärt werden kann aus der Bewegung einer Flüssigkeit; und dass eine in Bewegung befindliche Flüssigkeit Starrheit besitzen kann.

Ich hatte Ihnen gesagt, dass gerade Starrheit den Flüssigkeiten fehle. Dies ist wahr für den Zustand der Ruhe, nicht aber für den der Bewegung. (§ 156.)

Denken Sie sich einen vollkommen biegsamen O-förmigen Gummischlauch voll Wasser; er ist ganz schlaff und nachgiebig. Sobald Sie aber das Wasser in rasche Strömung versetzen, wird der Schlauch sofort steif; er wird ungestützt eine Weile aufrecht stehen können; eine Beule hinein zu drücken erfordert Kraft, und die Beule vergeht meist nicht wieder. Eine leicht ausführbare Form dieses Versuchs besteht darin, eine biegsame Kette

über eine Walze laufen zu lassen. Sie wird sofort steif, sobald man sie in rasche Bewegung versetzt.

Man nennt dies die Stromlinie eines Wirbels, und ein Wirbel besteht aus einer Anzahl solcher Stromlinien. Wenn sie mit einander parallel um eine gerade Achse oder einen Kern laufend auf einander geschichtet sind, so haben wir eine Wirbelröhre. Man kann eine solche mit leichter Mühe darstellen durch Umrühren von Wasser in einer Schüssel oder durch das Aufziehen des Ablauf-Ventils in einer Badewanne. Im grossen Maasstabe entstehen sie häufig in Amerika in der Luft und werden unter dem Namen Cyclone oder Wirbelstürme telegraphisch weiter gemeldet; sie werden auch „Depressionen“ genannt. Die *Depression* selbst ist leicht bemerklich in der Mitte des in Drehung befindlichen Wassers. Diese Wirbel sind wunderbar dauerhafte Erscheinungen und währen oft lange Zeit; oft auch fallen sie plötzlich und unerwartet in sich zusammen.

Die Wirbelachse braucht nicht eine gerade Linie zu bilden; sie kann verschiedenartig ringförmig sein, die einfachste Form ist ein Kreis. Um einen Wirbelring herzustellen, müssen wir eine ebene Fläche einer Flüssigkeit haben und in einem gegebenen Augenblick jedem Atom dieser Fläche eine gewisse Vorwärtsgeschwindigkeit verleihen, und diese Geschwindigkeit je nach der Entfernung vom Rande der Fläche bemessen. Flüssigkeiten ohne Reibung stehen uns bis jetzt für diesen Versuch nicht zu Gebot; aber mit Flüssigkeiten

wie Luft und Wasser ist er leicht anzustellen. Wir brauchen nur eine kleine Menge Wasser durch das scharfkantige Loch eines Behälters auszutreiben, so wird die Reibung an den Kanten die gewünschte Wirkung hervorrufen. Der innere Theil stürzt rasch vorwärts und kehrt an der Aussenseite des Kernes zurück zum Loche. Allein der Strom treibt das Ganze vorwärts und tatsächlich kehrt kein Theil davon zurück, sondern rollt nur auf seiner Aussenseite, wie ein Rad auf einer Strasse rollt. In einer vollkommenen Flüssigkeit und unter denkbaren Umständen würde er nicht weiterrollen, weil keine Reibung vorhanden wäre; in Luft oder Wasser hat ein Wirbelring jedoch stets eine bestimmte vorwärtstreibende Geschwindigkeit, genau wie das Rad einer Lokomotive, falls dieses nicht auf den Schienen gleitet.

In diesen Ringen haben wir eine wirkliche Luftmenge, die sich körperlich vorwärts bewegt und die gegen ein Gesicht oder eine Flamme mit merklicher Kraft anstösst. Eine Gasflamme lässt sich auf 10—12 m Entfernung durch ein unsichtbares Luftprojektil ausblasen. Es ist von der übrigen Atmosphäre durch seine eigenthümliche rotirende Bewegung unterschieden; durch Tabaksrauch wird der Wirbelring nur sichtbar gemacht; er wird dadurch nicht vollkommener.

Der Kern dieser Wirbel ist elastisch und besitzt Starrheit; der Kreis ist ihre Grundform; ändert sich diese, dann oscilliren sie um ihn herum. Wenn zwei Wirbel sich berühren oder sich auch nur nahe kommen, so

lenken sie einander ab und versetzen sich gegenseitig in Schwingungen.

Die Theorie der gegenseitigen Wirkung von Wirbelringen, deren Bahn sich kreuzt, ohne dass sie sich selbst sehr nahe kommen, ist in letzter Zeit durch Herrn J. J. Thomson weiter ausgearbeitet worden. Man kann die Wirbelringe ohne jede Berührung zum Vibriren bringen, indem man die Oeffnung, der sie entströmen, seitlich zusammendrückt; die geringste Abflachung eines Ringes macht ihn zur Ellipse; hier sehen Sie einen elliptischen Ring, der zwischen der Form einer hohen und einer flachen Ellipse hin und her schwankt. Hier ist eine viergeschweifte Oeffnung, wodurch die Vibrationen sehr deutlich sichtbar werden. Bei einer sechsgeschweiften Oeffnung werden die Schwingungen fast zu klein, um aus der Ferne gesehen zu werden, doch sind sie zuweilen auch da noch deutlich.

Die Ringe schwingen wie eine Glocke; vielleicht auch wie ein Atom schwingt. Obgleich aus Flüssigkeiten bestehend, besitzen sie Starrheit, denn sie bestehen aus Flüssigkeit in Bewegung. Die Wirbel sind unvollkommen, sie nehmen zu an Grösse und ab an Energie. In einer vollkommenen Flüssigkeit würden sie sich nicht so verhalten, sondern würden dauernd und unzerstörbar sein; freilich wären wir dann auch nicht im Stande, sie hervorzurufen.

Kommt Ihnen nun nicht der Gedanke, dass auch die Atome der Materie solche Wirbel sein könnten?

Wirbel in einer vollkommenen Flüssigkeit? Wirbel im Aether? Dies ist die Theorie von Sir William Thomson (jetzt Lord Kelvin). Noch ist sie nicht bewiesen; aber sie hat eine wunderbare Grösse, und man könnte von ihr sagen, sie verdiene es, wahr zu sein. Die Atome der Materie sind nach dieser Theorie nicht sowohl fremde Theilchen, die in den allgegenwärtigen Aether eingebettet sind, sondern Theilchen des Aethers, die in Folge ihrer Wirbelbewegung vom übrigen Aether differenzirt und thatsächlich zu festen Körpern geworden sind, ohne jedoch ihre Substanz zu verändern. Atome, die unzerstörbar und unerschaffbar sind; nicht harte unnachgiebige Körnchen, sondern bestehend aus wirbelndem Aether! Elastisch befähigt zu bestimmten Schwingungen, zu freier Bewegung und zum Zusammenstoss! Das Zucken und Schrumpfen der Wirbelringe zeigt die Art und Weise, wie wir uns die Schwingungen eines Atoms vorstellen können. Die Wirbel haben alle Eigenschaften der Atome mit Ausnahme einer einzigen: der Gravitation; und ehe wir die Theorie annehmen dürfen, muss sie uns die Gravitation erklären. Diese fundamentale Eigenschaft der Materie darf nicht in der Annahme einer künstlichen Batterie von überirdischen Wurfgeschossen ihre Erklärung suchen müssen. Wir dürfen nicht zum Anprall harter Körperchen zurückkehren, nachdem wir uns ein überall vorhandenes, zusammenhängendes Medium zugestanden haben. Dass die Wirbelatome gravitiren, muss bewiesen werden.

Aber bedenken Sie, wie schwach die Gravitationskraft ist. Jeder Gebildete, den Sie fragen, ob zwei Stücke Blei von je ein Pfund Schwere sich gegenseitig anziehen, wird Ihnen mit „Nein“ antworten. Er irrt sich natürlich, aber die Kraft ist ausserordentlich klein. Dennoch ist sie die Summe der Anziehung von Trillionen und Trillionen von Atomen; wäre die *allerkleinste* Wirkung eines jeden Atoms auf den Aether nachgewiesen, so würde dies zur Erklärung der Schwerkraft genügen. Niemand kann behaupten, dass Wirbelatome keinen solchen bleibenden allgemeinen Einfluss auf die Flüssigkeit, in der sie existiren, ausüben bevor nicht kleinste Quantitäten zweiter, dritter und jeder beliebigen Ordnung in Betracht gezogen und die Theorie der Wirbel in einer vollkommenen Flüssigkeit mit peinlichster, endgültiger Genauigkeit durchgearbeitet worden ist.

Bis jetzt ist die Theorie von Sir William Thomson noch nicht bewiesen; sie ist vielleicht wenig mehr als eine Spekulation, aber sie ist wohl werth, gekannt, studirt und geprüft zu werden. Sie kann stehen oder fallen. Selten reichen unsere Vorstellungen von den Vorgängen in der Natur an die Wirklichkeit heran; noch viel weniger vermögen sie sie jemals zu übertreffen. Wie grossartig müsste also die wahre Natur der Materie sein, wenn Sir William Thomson's Theorie sich als unrichtig erwiese.

Ich habe soeben den Versuch gemacht, Ihnen die einfachste Vorstellung vom materiellen Weltganzen zu

geben, die bis jetzt dem menschlichen Geist erschienen ist, nämlich die Vorstellung von einer allgemeinen Substanz, die vollkommen homogen, kontinuierlich und von einfachster Struktur ist, sich bis in die entferntesten denkbaren Grenzen des Weltraumes ausdehnt und überall gleichmässig vorhanden ist; die, theilweise in Ruhezustand befindlich oder in einfacher nicht rotirender Bewegung, die Schwingungen, die wir „Licht“ nennen, weiterführt, oder, theilweise als Wirbel rotirend, dauernd vom übrigen Medium in Folge dieser Bewegung unterschieden ist.

Diese wirbelnden Theile sind das, was wir Materie nennen; ihre Bewegung verleiht ihnen Starrheit, und aus ihnen sind unsere Körper, sowie alle anderen aus Materie bestehenden Körper, die uns bekannt sind, aufgebaut.

Eine einzige Substanz, ununterbrochen und allen Raum erfüllend, die als Licht Schwingungen vollführt, die in positive und negative Elektrizität sich spalten kann, als Wirbel die Materie bildet und durch Kontinuität, nicht durch Stoss, jede Wirkung und Gegenwirkung, deren die Materie fähig ist, weiter trägt: dieses ist die heutige Ansicht von dem Aether und seinen Funktionen.

VORLESUNG III

DIE LEYDENER FLASCHE

Gehalten in der Royal Institution am 8. März 1889

Eine der grossen wissenschaftlichen Verallgemeinerungen, die Faraday aufgestellt hat, lautet: Jede elektrische Ladung und Entladung ist im Wesentlichen die Ladung und Entladung einer Leydener Flasche. Ein einzelner Körper kann nicht geladen werden. Wird ein Körper positiv geladen, so erhält dadurch gleichzeitig ein anderer Körper eine negative Ladung und die beiden gleichen entgegengesetzten Ladungen sind durch Induktionslinien verbunden. Sie sind in der That nichts weiter als die Endungen dieser Linien. Eine Ladung kann ohne die andere nicht bestehen, ebenso wenig wie ein Bindfaden nur *ein* Ende haben kann; das andere mag versteckt, es mag in Fasern aufgelöst, aber es muss vorhanden sein.

Wenn ich also als bekannt vorausschicke, dass jeder geladene Körper eigentlich eine Leydener Flasche ist, so ergibt sich aus dieser Thatsache sofort, dass unser heutiges Thema ein sehr umfangreiches ist; ja dass es sich über das ganze Gebiet der Elektrizität erstreckt. Denn die Ladung der Leydener Flasche umfasst die gesammte Elektrostatik, während ihre Entladung, dadurch dass sie einen Strom erzeugt, das Gebiet der strömenden Elektrizität einschliesst, mit Ausnahme desjenigen Theils, der mit den Erscheinungen stetiger Ströme zu thun hat. Ferner magnetisirt ein elektrischer Strom nothwendigerweise seine Umgebung, gleichviel ob er sich in gerader oder gekrümmter Richtung bewegt, ob er durch einen Draht fliesst oder die Luft durchschlägt; deshalb müssen wir auch auf das Gebiet des Magnetismus übergreifen. Endlich ist die Entladung der Leydener Flasche oscillirend und, da wir die Schwingungsbewegung, die wir „Licht“ nennen, neuerdings als einen oscillirenden elektrischen Strom erkannt haben, so müssen wir auch das Gebiet der Optik in das Reich unserer Betrachtungen ziehen.

Obgleich aber unser Gegenstand eine so umfassende Behandlung zulässt, und obgleich wir stets bestrebt sein müssen, die grosse Tragweite der scheinbar einfachsten Thatsachen in diesem Zusammenhange vor Augen zu behalten, so gedenke ich heute nicht ins Weite zu schweifen, sondern mich möglichst eng an mein Thema zu halten: die Leydener Flasche in ihrer einfachsten

bekanntesten Form, bestehend aus einem Glasgefäß, zwei Staniolblättern und etwas Schellack.

Um das Laden einer solchen Flasche zu veranschaulichen, habe ich mir seit geraumer Zeit folgende mechanische Analogie einzuführen erlaubt. Man denke sich ein nicht dehnbares endloses Seil, das über Rollen läuft. Auf einer Strecke dieses Seils sind eine Reihe festhaftender Kugeln aufgezogen, die mit Gummibändern oben und unten in einen festen Rahmen eingespannt sind.

Das Seil soll die Elektrizität darstellen; die Kugeln sind die aufeinanderfolgenden Schichten in der Dicke des Glases, oder, wenn man will, Atome dielektrischer oder isolirender Materie. Erhöhte Spannung des Seils bedeutet negatives Potential, während eine verminderte Spannung (die genaueste Analogie für Druck, die unter den Umständen möglich ist), positives Potential bedeutet. Die Kräfte, die das Seil bewegen, z. B. eine Winde oder ein Gewicht, bedeuten elektromotorische Kräfte; eine Klemme oder ein festes Hinderniss stellt einen Rheostat oder Ausschalter dar; eine längere oder kürzere Strecke Seil zwischen zwei Stoffschichten bedeutet eine positive oder negative Ladung.

Aus dem Diagramm ergibt sich nun ohne Weiteres, wie die Flasche geladen wird.

Um sie zu entladen, entferne man die elektromotorische Kraft und löse die Klemme, d. h. man schliesse den Stromkreis. Alsdann wird der Zug in den Gummi-

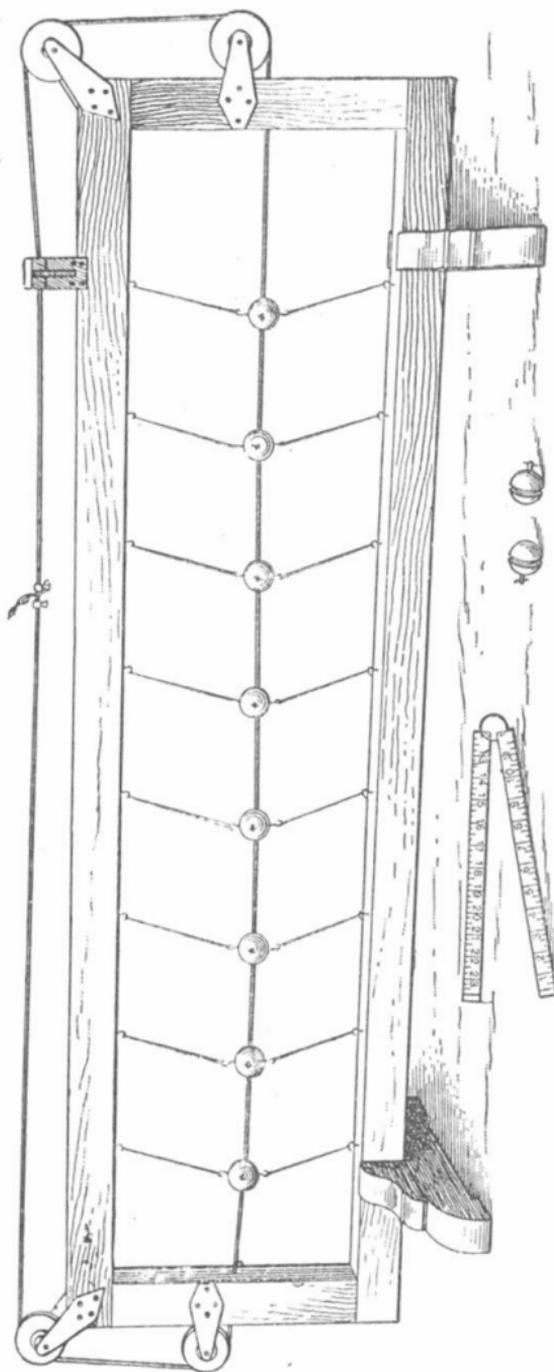


Fig. 67. — Modell zur Veranschaulichung dielektrischer Erscheinungen, wie auf Fig. 6 S. 43. Das endlose Seil ist durch eine Presse geführt, die es festkleben kann. Die Holzkugeln haften an dem Seil mittels Schrauben; will man Leitung darstellen, so lockert man die Schrauben. Die Kugeln auf dem Tisch sind aus Blei; an den senkrechten Theilen des Seils angebracht, bedeuten sie Erhöhung der Selbstinduktion. Die Holzkugeln sind mittels gewöhnlicher Gummibänder und Haken in den Rahmen eingespannt. Die Gummibänder können nach Belieben verdoppelt oder anderweitig verändert werden, um verschiedene spezifische induktive Capacität darzustellen.

bändern das Seil rasch rückwärts treiben, das Beharrungsvermögen der Kügelchen wird es nöthigen, über sein Ziel hinauszuschnellen, und die Flasche wird auf einen Augenblick eine umgekehrte Ladung erhalten. Allein schon schwingt das Seil zurück und eine Ladung mit demselben Vorzeichen wie anfangs, nur wesentlich schwächer, wird sich nun in der Flasche vorfinden, wenn man den Vorgang unterbricht. Setzt man ihn fort, so hören die Schwingungen allmählich auf, binnen Kurzem ist Alles ruhig und die Flasche hat sich vollständig entladen.

Dies Alles geht in der Leydener Flasche vor, und die ganze Serie von Schwingungen mit der periodischen Umkehrung der Ladungen in der Flasche vollzieht sich in dem unglaublich kurzen Zeitraum, in dem der Funken aufleuchtet.

Wovon hängt nun die Schwingungsdauer ab? Offenbar von der Elasticität der Gummibänder und dem Beharrungsvermögen der Materie, die bewegt wird. Wir wollen das einfachste mechanische Beispiel wählen, das der Schwingungen einer belasteten Feder, z. B. einer der Zungen einer Spieldose. Je grösser die Steifigkeit und je geringer die Belastung, um so schneller schwingt die Feder. Ein Mathematiker, dem man diese Grössen mittheilt, wird berechnen können, wieviel Zeit die Feder braucht, um eine vollständige Schwingung auszuführen, er wird ihre „Schwingungsperiode“ bestimmen. (Versuch: Belastete Latte im Schraubstock.)

Das elektrische Problem und dessen Lösung sind genau analog. Der Elasticität der Feder entspricht in der Sprache der Elektrizität die statische Kapazität, oder, wie sich Herr Heaviside ausdrückt, die „Permittanz“. Dem Beharrungsvermögen der gewöhnlichen Materie entspricht das elektromagnetische Beharrungsvermögen oder die Selbstinduktion, nach Herrn Heaviside die „Induktanz“.

Erhöht man eine dieser beiden Grössen, so verringert man die Schwingungsdauer. Die Erhöhung der statischen Kapazität entspricht einer Verlängerung der Feder; die Erhöhung der Selbstinduktion entspricht einer Belastung der Feder.

Die statische Kapazität erhöht man einfach dadurch, dass man sich einer grösseren Flasche bedient oder nach althergebrachter Art mehrere Flaschen zu einer Batterie vereinigt. Die Selbstinduktion erhöht man, indem man den Raum, den die Entladung zu magnetisiren hat, vergrössert, oder indem man sie einen gegebenen Raum stärker magnetisiren lässt. Denn das elektromagnetische Beharrungsvermögen wird ausschliesslich bedingt durch die Magnetisirung des den Strom umgebenden Raumes; und dieser kann beliebig vergrössert oder stärker magnetisirt werden.

Um den Raum zu vergrössern, lässt man einfach die Entladung statt eines kurzen Kreislaufs einen langen ausführen. Man kann sie durch einen Draht rings um das Zimmer oder durch ein Telegraphenkabel rings um

die Stadt senden. Alsdann wird das gesammte umkreiste Gebiet, sowie ein Theil des ausserhalb befindlichen Raumes mehr oder weniger magnetisirt. Wenn ich mehr oder weniger sage, so meine ich eher weniger als mehr; denn in Wirklichkeit handelt es sich um Wirkungen, die, ausgenommen in unmittelbarer Nähe des Leiters, kaum wahrnehmbar sind. Daher wächst die Selbstinduktion proportional der Länge des Drahts und nicht proportional der Grösse des umkreisten Raumes, vorausgesetzt, dass die Hin- und Rückleitungen weit genug von einander entfernt sind, um ihre gegenseitige wahrnehmbar magnetisirte Umgebung nicht zu stören. Siehe Anhang (e).

Es ist jedoch ebenso wirksam und weniger platzraubend, die Magnetisirung eines gegebenen Raumes dadurch zu erhöhen, dass man den Strom mehrere hundert Mal um den von ihm eingeschlossenen Raum kreisen lässt; dies geschieht, indem man eine Drahtspule in den Entladungsstromkreis einschaltet.

Eine dritte Art, die Magnetisirung eines gegebenen Raumes zu erhöhen, besteht darin, ihn mit einer sehr magnetisirbaren Substanz, etwa mit Eisen, auszufüllen. Dieses Verfahren ist sogar in vielen Fällen das wirksamste, da man durch Einführung eines eisernen Kerns die Magnetisirung und mithin auch die Selbstinduktion oder das Beharrungsvermögen des Stroms um etwa das 5000fache steigern kann.

Allein bei der Entladung der Leydener Flasche bringt

das Eisen keinen Vortheil. Der Strom oscillirt so schnell, dass der Eisenkern, selbst wenn er in die allerdünnsten Drähte aufgelöst wäre, durch die auf seiner äusseren Oberfläche inducirten, umgekehrten Gegenströme vor dem Magnetismus geschützt sein würde, wie Lord Rayleigh nachgewiesen hat. Der Kern wird also nicht einfach magnetisirt, ja weit entfernt, die Selbstinduktion des Entladungsstromkreises zu erhöhen, vermindert er sie vielmehr geradezu durch die Gegenwirkung dieser inducirten Ströme, d. h. er wirkt ungefähr wie ein Stück Kupfer.

Nachdem wir die Umstände festgestellt haben, von denen die Schwingungsdauer abhängt, haben wir uns zunächst mit denjenigen zu beschäftigen, welche das Abklingen der Schwingungen, d. h. die Gesamtdauer der Entladung bedingen.

Widerstand ist *ein* Faktor. Wenn wir die Schwingungen einer oscillirenden Feder vernichten wollen, so bedienen wir uns der Reibung oder wir lassen sie in einem zähen Medium schwingen. Alsdann werden ihre Oscillationen schnell gedämpft. Die Reibung kann so stark sein, dass die Oscillationen vollständig verhindert werden und die Feder aperiodisch in die Ruhelage zurückkehrt, oder sie kann noch stärker sein, so dass die Rückkehr sich ganz langsam, erst im Laufe von Stunden oder Tagen vollzieht. Bei sehr grossen Kondensatoren, wie sie im Telegraphendienst Anwendung finden, ist diese Art der Entladung häufig, bei der Leydener Flasche aber

kommt sie nur ganz ausnahmsweise vor. Man kann sie hervorrufen, indem man einen nassen Bindfaden, ein Kapillarröhrchen mit destillirtem Wasser, eine Holzplatte oder irgend einen anderen ausserordentlich schlechten Leiter in den Stromkreis einschaltet. Aber die Bedingungen, unter denen sich eine Leydener Flasche gewöhnlich entlädt, gleichviel ob die Entladung durch einen langen oder kurzen Draht, oder einfach durch ihre Knöpfe stattfindet, ob sie über den Rand läuft, oder das Glas durchschlägt, entsprechen der Oscillation und nicht der langsamen Rückkehr in die Ruhelage. (Entladung der Flasche, erst durch Draht, dann durch Holz.)

Selbst wenn die Flasche ganz langsam durch Holz oder Wasser entladen wird, ist die Entladung keine stetige; sie ist zwar nicht oscillirend, aber doch intermittirend. Sie vollzieht sich in einer Reihe von kleinen Stößen, wie wenn ein Körper über eine harzige Oberfläche gleitet. Dies geschieht, weil die Enden sich schneller entladen, als der Stromkreis die Elektrizität zuführen kann; der Strom hört daher beständig auf und rängt wieder an.

Eine solche Entladung, die eigentlich aus einer Reihe kleiner Funken besteht, erscheint dem Auge zwar auch wie ein einziger Blitz, aber das Geräusch und die Heftigkeit der gewöhnlichen Entladung fehlen; auch kann man sie leicht mittels eines rotirenden Spiegels in ihre Bestandtheile zerlegen und so beweisen, dass sie inter-

mittirend ist. (Vorzeigen eines rotirenden Spiegels oder Wackeln mit dem Kopf oder einem Opernglas.)

Wir dürfen also getrost behaupten: Wenn die Entladung einer Flasche oscillirend ist, so ist sie intermittirend, und umgekehrt. Dazwischen giebt es noch eine Möglichkeit, die aperiodische Entladung; diese aber wird sich künstlich nur mit grosser Sorgfalt herbeiführen lassen und äusserst selten zufällig vorkommen.

Soweit haben wir Widerstand oder Reibung als Ursache für das Erlöschen der Schwingungen angeführt. Aber es giebt noch eine andere Ursache von höchster Bedeutung.

Die Schwingungen einer Zunge werden allerdings zum Theil durch Reibung und unvollkommene Elasticität gedämpft, zum Theil aber auch durch die Energie, die auf das umgebende Medium übergeht und in Schall umgesetzt wird. Die Erzeugung und Fortpflanzung von Schallwellen ist bei Musikinstrumenten ein Hauptfaktor für die Vernichtung der Schwingungen. Dasselbe gilt für die Electricität. Die oscillirende Entladung einer Leydener Flasche stört das umgebende Medium und versetzt es in Schwingungen, die in den Raum hinauswandern. Sie wandern mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 Kilom. in der Sekunde, d. h. mit genau derselben Geschwindigkeit wie das Licht (Stimmgabel).

Die *zweite* Ursache also, welche die Schwingungen in einem Entladungsstromkreis vernichtet, ist die *Strahlung*, die *elektrische* Strahlung, wenn Sie den Unterschied

machen wollen. Sie weicht aber in keiner Weise ab von der gewöhnlichen Strahlung (oder der strahlenden Wärme, wie sie so oft in diesem Hause genannt worden ist (Tyndall); ebensowenig vom Licht, ausgenommen durch die physiologische Thatsache, dass der Mechanismus unserer Netzhaut nur auf einen bestimmten Umfang sehr kleiner Wellen reagirt, während die Strahlung im Allgemeinen Wellenlängen von 1 Mill. Meilen bis zu 1 Millionstel Zoll umfassen dürfte.

Diese grosse Entdeckung vom Wesen des Lichtes hatte ihren Keim in Faraday's Lehre von der magneto-elektrischen und elektrostatischen Induktion. Alsdann verwandte Clerk Maxwell den grössten Theil seines Lebens darauf, sie zu einer reifen, voll entwickelten Theorie auszubauen. Jetzt ist der experimentelle Beweis in Deutschland erbracht worden. Heinrich Hertz ¹⁾, gegenwärtig Professor an der Universität Bonn, ist ein junger Forscher allerersten Ranges. Unter Helmholtz geschult und als Mathematiker sowohl wie als Experimentator ungemein begabt, hat er sich durch eine Reihe glänzender Untersuchungen unsterblich gemacht, die das reife Korn unserer wissenschaftlichen Anschauungen geerntet und gleichzeitig breite Nebenpfade für die Forschung Anderer eröffnet haben.

Ursprünglich wollte ich Ihnen heute Abend über die Hertz'schen Untersuchungen berichten. Allein die Versuche sind noch nicht in dem Maassstabe ausführbar,

¹⁾ Gestorben daselbst den 1. Januar 1894.

der für einen grossen Zuschauerkreis geeignet wäre; und ich selbst bin durch nicht ganz unähnliche, wiewohl selbstständige Forschungen, zu denen ich auf dem Umweg über Blitzableiter gelangte, davon abgehalten worden mehr zu thun, als einige Versuche zu meiner eigenen Erbauung zu wiederholen. (§ 189.)

Inzwischen sind wir von unserer Leydener Flasche etwas abgekommen und müssen zu ihr und ihren Oscillationen zurückkehren. Lassen Sie mich in kurzen Worten schildern, wie wir zur Erkenntniß der oscillatorischen Beschaffenheit ihrer Entladung gelangt sind. Die Thatsache wurde zuerst klar erkannt und bestimmt ausgesprochen durch Joseph Henry aus Washington, einen ausgezeichneten Experimentator, dessen Arbeitsmethode der Faraday's nicht unähnlich war, obgleich er wohl nur in geringerem Grade Faraday's erstaunliche Einsicht in complicirte und dunkle Erscheinungen besass und auch durch die äusseren Umstände weniger begünstigt war.

Dieser grosse Forscher gelangte zu der Ueberzeugung, dass die Entladung der Leydener Flasche oscillirend sei, durch das Studium der eigenthümlichen Erscheinungen, welche eintreten, wenn man Magnetnadeln mit einer Flaschenentladung magnetisirt. Die Erscheinungen selbst wurden zuerst von Savary im Jahre 1824 beobachtet. Es zeigte sich, dass dünne Nadeln, wenn sie aus der magnetisirenden Spule entfernt wurden, nicht

immer in der beabsichtigten Richtung magnetisirt waren. Man bezeichnet diese Erscheinung als „anomale Magnetisirung“. Eigentlich ist aber nicht die Magnetisirung anomal, sondern die Ströme, die keine einfache Richtung haben. Wir finden in einem Aufsatz von Henry aus dem Jahre 1892 folgende Stelle:

„Diese Anomalie, die so lange nicht erklärt werden konnte und die auf den ersten Blick unseren sämtlichen Vorstellungen von dem Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus zu widersprechen scheint, wurde vom Verfasser nach längerem Studium in befriedigender Weise auf eine Wirkung der Entladung der Leydener Flasche zurückgeführt, die bis dahin noch nie bemerkt worden war. Es ist unrichtig, die Entladung, wie diese auch beschaffen sein möge (wir bedienen uns der Einfachheit halber der Franklin'schen Theorie) als die einfache Uebertragung eines imponderablen Fluidums von einer Seite der Flasche auf die andere darzustellen; die Erscheinung zwingt uns zu der Annahme, *dass sich die Hauptentladung in einer Richtung vollzieht und dann mehrere Reflexwirkungen hin und her stattfinden, bis das Gleichgewicht hergestellt ist.* Alle Thatsachen stimmen mit dieser Annahme überein und sie erklärt mit Leichtigkeit eine Reihe von Erscheinungen, die in älteren Werken über Elektrizität aufgeführt sind, bisher jedoch unverständlich geblieben waren.“¹⁾

¹⁾ Scientific Writings of Jos. Henry Bd. I S. 201, herausgegeben von der Smithsonian Institution, Washington 1886.

Henry selbst hat die oben stehenden Worte durch den Druck hervorgehoben. Stände dieser Passus vereinzelt da, so könnte man ihn für weiter nichts als eine glückliche Vermuthung halten. Allein dem ist nicht so. Henry gelangt zu diesem Ergebniss nach mühevoller Wiederholung und gründlichem Studium der Thatsachen, behält den einmal gefassten Gedanken beständig vor Augen und benutzt ihn bei seinen sämmtlichen übrigen Untersuchungen über den Gegenstand. Die Thatsachen, die er beobachtete, bestätigen meiner Ansicht nach seine Schlussfolgerung: folglich muss er als der ursprüngliche Entdecker von der oscillatorischen Beschaffenheit des Funkens angesehen werden, obgleich er keinen Versuch macht, die Erscheinung theoretisch zu erklären. Dies geschah zuerst in erschöpfender Weise im Jahre 1853 durch Sir William Thomson; die Versuche von Feddersen, Helmholtz, Schiller und anderen haben nur dazu beigetragen, sie zu befestigen.

Henry's Schriften sind erst seit Kurzem gesammelt und durch die Smithsonian Institution in Washington in zugänglicher Form herausgegeben worden; sie sind daher viel zu wenig bekannt. Die beiden Bände enthalten einen Reichthum an herrlichen Versuchen in klarer Darstellung und sind werth, gelesen zu werden.

Die Entdeckung, dass die Entladung der Leydener Flasche oscillirend sei, mag geringfügig erscheinen; aber sie ist es nicht. Man braucht sich nur zu vergegenwärtigen, dass die Hertz'schen Oscillatoren im Wesent-

lichen Leydener Flaschen sind, man braucht nur an den Ausdruck „elektromagnetische Theorie des Lichts“ zu denken, um sich mit einem Schlage die gewaltigen Folgen dieser Entdeckung vor die Seele zu rufen.

Noch einen Auszug aus demselben Aufsatz von Henry ¹⁾ muss ich Ihnen mittheilen und zwar einen besonders interessanten. Es geht daraus hervor, wie nahe er daran war oder hätte sein können, einige der Hertz'schen Resultate zu erzielen, obgleich, wenn er sie erzielt hätte, weder er noch irgend ein anderer Forscher im Stande gewesen wäre, ihre wahre Bedeutung zu durchschauen.

Im Grunde war es doch das Genie Maxwell's und einiger anderer grosser theoretischer Physiker, deren Namen in aller Munde sind ²⁾, das den einfachen Induktionsversuchen von Hertz und Anderen ihre ungeheure Wichtigkeit verlieh.

Das Citat lautet wie folgt:

„Im Verlauf der auf diesen Theil unserer Untersuchungen bezüglichen Beobachtungen gelangten wir zu einem merkwürdigen Resultat betreffs der Entfernung, in welcher sehr kleine Elektrizitätsmengen noch Induktionserscheinungen hervorrufen. Ein einziger un-

¹⁾ Loc. cit. S. 204.

²⁾ Hierher gehört auch ein Mann, dessen Name zwar noch nicht in aller Munde ist, dessen umfassende Untersuchungen über elektromagnetische Wellen aber tiefer in dieses Gebiet eingedrungen sind, als im Allgemeinen bekannt ist; ich meine den ausgezeichneten mathematischen Physiker Herrn Oliver Heaviside.

gefähr 3 cm langer Funken aus dem primären Leiter einer Elektrisirmaschine, der in einem Zimmer des oberen Stockwerks auf das Ende eines Drahtstromkreises übersprang, erzeugte eine hinreichend starke Induktion, um Magnetnadeln zu magnetisieren, die sich in einem parallelen eisernen Stromkreis im Keller darunter befanden, also in einer senkrechten Entfernung von 9 m und getrennt durch zwei Fussböden und Zimmerdecken von je 40 cm Dicke. Der Verfasser neigt dazu, ein elektrisches *Plenum*“ [mit andern Worten einen Aether] „anzunehmen; und der obige Versuch würde ergeben, dass ein einziger Funken hinreicht, um die Elektrizität eines Raums von mindestens 120 000 Kubikmeter Kapazität merklich zu stören; wenn man ferner bedenkt, dass der Magnetismus der Nadel die Differenz zweier Wirkungen ist, so kann man schliessen, dass die Zerstreung der Bewegung fast dieselbe ist wie bei Erzeugung eines Funkens mit Stein und Stahl.“

Allerdings, denn heute wissen wir, dass beide Vorgänge identisch sind.

Eine unmittelbare Folge der oscillatorischen Beschaffenheit der Flaschenentladung und gleichzeitig ein einfacher Beweis dafür, ist das Auftreten von Resonanzerscheinungen.

Es ist allgemein bekannt, dass eine Stimmgabel die andere auf mässige Entfernungen erregen kann, wenn beide auf denselben Ton abgestimmt sind. Es ist gleich-

falls bekannt, dass eine Stimmgabel eine mit ihr verbundene gespannte Saite zum Mitschwingen bringt, wenn beide auf denselben Ton oder auf einen harmonischen Oberton abgestimmt sind. Diese beiden Thatsachen haben in der Elektrizität ihre Analogien. Meine Zeit erlaubt mir heute nicht, näher auf diesen Gegenstand einzugehen; ich möchte jedoch zwei Fälle erwähnen, die ich selbst beobachtet habe.

Die Entladung einer Leydener Flasche kann eine benachbarte, gleich abgestimmte Leydener Flasche so stark erregen, dass sie ihr Dielektricum durchschlägt, wenn es dünn und schwach genug ist. Die passend abgestimmten Impulse sammeln sich in dem benachbarten Stromkreis, bis sie durch eine Luftschicht von messbarer Dicke durchschlagen. Stört man die Uebereinstimmung der Stromkreise, indem man die Kapazität des einen verändert oder einen längeren Draht einschaltet, so hört die Wirkung auf, auch wenn der eingeschaltete Draht aus mehreren Windungen besteht und sonst dazu geeignet wäre, das, was man gewöhnlich unter gegenseitiger Induktion versteht, zu erhöhen. Sobald man die statische Kapazität vermindert, tritt die Wirkung wieder auf.

Wir haben hier die elektrische Analogie zu den sich gegenseitig erregenden Stimmgabeln. Leider ist die Wirkung zu gering, um sie einer grösseren Versammlung zu zeigen; ich selbst habe sie erst kürzlich beobachtet.

(Eine spätere Form desselben Versuchs, Fig. 54, ist besser sichtbar.)

Den zweiten Fall, der dem Erregen einer gespannten Saite von passender Länge durch eine Stimmgabel entspricht, habe ich voriges Jahr unter dem Namen des Versuchs mit dem Rückstoss (recoil kick) veröffentlicht. Der Stromkreis einer Leydener Flasche sendet durch einen Draht, dessen eines Ende mit ihm verbunden ist, Wellen, die als Lichtbüschel oder langer Funken von seinem entfernten Ende absprühen.

Ich will Ihnen heute Abend nur eine Phase des Versuchs zeigen, nämlich die Rückwirkung des im Draht angesammelten Impulses auf die Flasche selbst, wodurch sie entweder überläuft oder zerplatzt. (Ueberlaufen von $\frac{1}{2}$ l und 5 l Flaschen unter Einwirkung eines um das Zimmer geleiteten Drahts.)¹⁾

¹⁾ Während dieses Versuches bemerkte man, dass die vergoldete Tapete an der Wand Funken sprühte, in der Weise, dass jeder vergoldete Musterstern von einer gewissen Grösse sich in den nächsten entlud. Die Erscheinung ist wahrscheinlich auf eine Art von Resonanz zurückzuführen. Es ist erstaunlich, wie die Elektrizität in Leitern umherspritzt, die sich in der Nähe einer Entladung befinden. So sprühte z. B. ein Fernrohr, das einer der Zuhörer in der Hand hielt, bei jeder Entladung der Flasche kleine Funken. Jeder Gegenstand, dessen elektrische Schwingungsperiode zufällig mit einem Oberton von der Hauptschwingung der Entladung zusammenfällt, verhält sich ebenso. Wenn Licht auf eine undurchsichtige Fläche fällt, so wird es ausgelöscht, wobei es winzige elektrische Ströme erzeugt, die sich in Wärme umsetzen. Das Funken-sprühen der Tapete beruhte wahrscheinlich darauf, dass Wellen elektrischer Strahlung von den Wänden des Zimmers vernichtet oder

Die ersten Beobachtungen von Franklin über das Zerplatzen von Leydener Flaschen und die ausserordentliche Complicirtheit und Mannigfaltigkeit ihrer Sprünge sind sehr interessant. (Siehe *Electrician* vom 29. März und 5. April 1889.)

Seine elektrischen Versuche, sowie die von Henry, sind durchaus lesenswerth, wenn sie auch aus einer Zeit stammen, in der die elektrische Wissenschaft noch in den Kinderschuhen steckte.

Es fällt Franklin auf, dass das Zerplatzen der Flaschen eine selbständige Erscheinung ist, welche nicht die normale Entladung vertritt, sondern sie begleitet. Wir wissen jetzt, dass sie durch dieselbe beschleunigt wird; der zwischen den Knöpfen überspringende Funke erzeugt so heftige Schwingungen, dass die Flasche in viel stärkere Spannung versetzt wird, als durch eine statische Ladung oder eine blosse Spannungsdifferenz zwischen ihren Belegungen; und wenn die Wellen auch nur im Groben abgestimmt sind, so muss die Flasche unbedingt überlaufen oder zerplatzen.

Darum muss eine Leydener Flasche stets ohne Deckel angefertigt werden und der Rand muss um ein sorgfältig abgemessenes Stück über die Belegungen vor-

reflektirt wurden und dabei elektrische Ströme erzeugten (§ 166). Dieses elektrische Mitschwingen macht bei der Aufstellung von Blitzableitern die strengste Vorsicht nöthig.

Die obige Erklärung ist seitdem durch ähnliche Vorgänge an anderen Orten vollkommen bestätigt worden.

stehen; nicht so weit, dass er aufhört, ein Sicherheitsventil zu sein und doch weit genug, um unter normalen Umständen das Ueberlaufen zu verhüten.

Und nun kommen wir zu dem eigentlichen Hauptthema unserer heutigen Vorlesung, nämlich zu der sichtbaren und hörbaren Demonstration der Oscillationen im Funken der Leydener Flasche. Eine solche Demonstration ist meines Wissens bisher noch nicht versucht worden, aber wenn Alles gut geht, wird sie uns leicht gelingen.

Zuerst wollen wir die Schwingungen hörbar machen. Zu diesem Zweck müssen wir ihre ungeheure Geschwindigkeit von einer Million oder hunderttausend Schwingungen in der Sekunde auf eine Schwingungsdauer herabsetzen, die innerhalb der Grenzen unseres Gehörs liegt. Dies geschieht, genau wie bei einer Sprungfeder, indem man erst ihre Schmiegsamkeit erhöht und sie dann spannt. (Funken aus einer Flaschenbatterie und deren verschiedene Geräusche.)

Ich benutze die grösste Flaschenbatterie, die mir zu Gebote steht, und entziehe diesen beiden Knöpfen einen mässig langen Funken. Er braucht nicht länger zu sein als $\frac{3}{4}$ cm. Trotz der grossen Kapazität ist die Schwingungsdauer noch weit über der Grenze des Hörbaren; man vernimmt nur den gewöhnlichen Knall. Nun vergrössere ich die Selbstinduktion des Stromkreises, indem ich eine grosse Drahtspule einschalte; sofort verändert sich der Charakter des Funkens; aus

dem Knall wird ein sehr hoher aber unverkennbar pfeifender Ton, ähnlich wie die Stimme einer Fledermaus. Eine zweite Drahtspule wird eingeschaltet und wieder vermindert sich die Schwingungsdauer, diesmal auf etwa 5000 Schwingungen in der Sekunde oder ungefähr den höchsten Ton auf dem Klavier. Wieder und wieder belaste ich den Stromkreis mit magnetisierbarer Materie, bis endlich der Funken nur noch 500 Schwingungen in der Sekunde hat und das eingestrichene oder höchstens das zweigestrichene *c* hören lässt.

Warum wir einen musikalischen Ton hören, ist klar: Das Geräusch des Funkens rührt her von der plötzlichen Erwärmung der Luft. Da diese Erwärmung periodisch erfolgt, so wird auch das Geräusch periodisch sein; aber beide werden, wenn ich mich so ausdrücken darf, eine Oktave höher klingen, als die elektrische Oscillation, weil jede vollständige elektrische Schwingung mit zwei Erwärmungsstößen verbunden ist. Die Wärmeerzeugung ist nämlich von der Richtung des Stroms unabhängig.

Nachdem wir so die Schwingungsdauer auf eine bequeme Geschwindigkeit herabgesetzt haben, bietet die optische Analyse keine Schwierigkeiten mehr. Ein einfacher mit der Hand hin und her bewegter Spiegel genügt, um den Funken in ein zackiges Band zu zerlegen, wie dies bei einer singenden oder tonempfindlichen Flamme geschieht; das Band sieht auch ähnlich aus.

In einem quadratischen, rotirenden Spiegel, der 2—3 Umdrehungen in der Sekunde macht, erscheint das Band bei dem tiefsten Ton ziemlich grobzackig; feine Zacken werden bei vier Umdrehungen in der Sekunde sogar bei schrill pfeifenden Funken sichtbar.

Die einzige Schwierigkeit bei der Wahrnehmung dieser Erscheinungen besteht darin, den richtigen Augenblick abzapfen. Sie sind nur während eines winzigen Bruchtheils einer Umdrehung sichtbar, wenn das Band auch ziemlich lang ausgedehnt erscheint. Je weiter der Funke vom Spiegel entfernt ist, um so länger erscheint das Band, um so schwerer ist es jedoch, den richtigen Moment zu erfassen.

Für einen einzelnen Beobachter lässt sich leicht eine Kontaktvorrichtung an der Achse des Spiegels anbringen, durch welche die Entladung an der richtigen Stelle der Umdrehung ausgelöst wird; alsdann kann er das Spiegelbild mit Bequemlichkeit durch ein Fernrohr oder Opernglas beobachten. Allerdings ist dies bei tieferen Tönen überflüssig.

Um die Erscheinung einem grösseren Kreise vorzuführen, giebt es verschiedene Vorrichtungen. Entweder man nimmt mehrere Funken statt eines einzigen; oder man vervielfacht das Spiegelbild des Funkens durch passend angebrachte Reflektoren, (die, wenn sie konkav sind, das Spiegelbild vergrössern); oder man bedient sich mehrerer rotirender Spiegel; ich selbst benutze

zwei, von denen der eine für die Zuhörer auf der Gallerie eingestellt ist.

Am zweckmässigsten scheint es mir aber, eine intermittirende und eine oscillirende Entladung zu verbinden. Man theile den Stromkreis in zwei Hälften; von diesen habe die eine einen hohen Widerstand, sodass sie intermittirt, die andere einen gewöhnlichen Widerstand, sodass sie oscillirt. Nun zerlege man mit dem Spiegel jeden Bruchtheil der intermittirenden Entladung in ein zackiges leuchtendes Band. Alsdann erhält man statt eines einzigen Funkens eine Serie von zahllosen Funken, die dicht genug auf einander folgen, um fast wie ein einzelner zu klingen und doch weit genug getrennt sind, um in dem rotirenden Spiegel von allen Seiten gleichzeitig sichtbar zu sein.

Diese Anordnung bedarf jedoch eines sehr starken Erregers. Trotz der gewaltigen Kraft dieser herrlichen Wimshurst'schen Elektrisirmaschine würde es zu lange dauern, bis sie unsere grosse Leydener Batterie geladen hätte. Die Wimshurstmaschine eignet sich für einen einzelnen Beobachter vortrefflich; für ein grosses Publikum aber braucht man einen Apparat, der die Batterie nicht einmal, sondern unzählige Male, ja gelegentlich bis zum Ueberlaufen lädt, und alles dies in einem Augenblick.

Um dies zu erreichen, muss ich Freund Wimshurst im Stich lassen und zu Michael Faraday zurückkehren. Vor dem Tisch befindet sich eine grosse Induktionsspule, deren Sekundärstromkreis den nöthigen Widerstand

besitzt, um eine intermittierende Entladung zu erzeugen. Ein einziger Funken aus diesem Induktorium genügt, um unsere Flaschen mehrmals bis zum Ueberlaufen zu laden. Der Entladungsstromkreis und alle sonstigen Versuchsbedingungen sollen unverändert bleiben. (Die Batterie wird durch das Induktorium geladen.)

Wenn wir nun statt der Wimshurstmaschine dieses Induktorium als Erreger benutzen und damit die Tonleiter angeben, während alles Uebrige beim Alten bleibt, so wird jeder Funken denselben Ton erzeugen wie zuvor, nur begleitet von einem schwachen Nebengeräusch, welches anzeigt, dass der Stromkreis sowohl wechselt als auch intermittirt. Drehen wir den Spiegel, so muss jeder Anwesende bei fast jeder Unterbrechung des Primärstromkreises der Spule einen oder den andern zackigen Lichtstreifen erblicken. (Rotiren des Spiegels, um die Funken zu zerlegen.)

Die musikalischen Funken, die ich Ihnen soeben gezeigt habe, erhielt ich als Nebenresultat¹⁾ einer Untersuchung über die Wirkung von Flaschenentladungen, die um schweres Glas oder Schwefelkohlenstoff geschickt wurden. Dass die Polarisationssebene des Lichts durch einen stetigen Strom oder durch irgend ein für die Lichtstrahlen passend angeordnetes Magnetfeld ge-

¹⁾ Wahrscheinlich wurde erst durch ein Gespräch mit Sir W. Thomson mein Interesse für langsame Oscillationen geweckt. Ich hatte meine Aufmerksamkeit bis dahin nur darauf gerichtet, die Schwingungen möglichst zu beschleunigen.

dreht wird, ist Ihnen bekannt. Weniger bekannt dürfte es Ihnen sein, dass diese Drehung durch den Strom einer Leydener Flasche bewirkt werden kann, und doch scheint mir diese Thatsache sehr interessant. Sie ist nicht gerade neu, ja nach heutigen Begriffen könnte man sie beinahe alt nennen, denn sie wurde schon vor sechs oder sieben Jahren von zwei höchst geschickten Experimentatoren, den französischen Physikern Bichat und Blondlot, untersucht.

Aber sie ist ausserordentlich interessant, weil sie zeigt, wie wenig, um nicht zu sagen wie absolut gar keine Zeit das schwere Glas braucht, um in den drehenden Zustand zu gelangen. Einige Beobachter glaubten bewiesen zu haben, dass schweres Glas erst allmählich in diesen Zustand gelangt, indem sie es zwischen den Polen eines Magneten rotiren liessen und dabei eine deutliche Abnahme der Wirkung bemerkten; allein ihre Schlüsse können nicht richtig sein, denn das polarisirte Licht folgt jeder Schwingung in einer Entladung. Ich habe selbst beobachtet, dass die Polarisationsenebene bis zu 70000 Mal in der Sekunde hin- und herwechselte. (Siehe Phil. Mag. April 1889.)

Es giebt wenige Menschen, die diese Wirkung gesehen haben. Ja, ausser den Herren Bichat und Blondlot hat sie bis vor 4 Wochen wohl überhaupt Niemand gesehen. Heute aber hoffe ich sie den meisten Anwesenden, wenn auch vielleicht nicht Allen, sichtbar zu machen.

Ich benutze wieder die Wimshurstmaschine als Erreger und sende eine Entladung durch die Drahtspule, welche um diese lange, mit Schwefelkohlenstoff gefüllte Röhre gewickelt ist. Wird nun das analysirende Nicol'sche Prisma so eingestellt, dass es den Lichtstrahl auslöscht, so bemerkt man auf dem Projektionsschirm bei jedem Funken eine schwache, in nächster Nähe deutlich sichtbare, aber immerhin sehr rasch vorübergehende Aufhellung. (Versuch mit der Schwefelkohlenstoffröhre.)

Auch diese Aufhellung halte ich für oscillirend. Dies lässt sich unter Anderem beweisen, indem man eine Doppelquarzplatte zwischen die beiden Nicols einführt. Bei stetigem Strom ist die Doppelquarzplatte ausserordentlich empfindlich für Rotationen; die empfindliche Uebergangsfarbe verändert sich auf der einen Seite in Grün, auf der anderen in Roth. Bei oscillirendem Strom verhält sie sich vollständig passiv. (Doppelquarzplatte.)

Ein anderer Beweis besteht darin, dass, wenn man den Analysator in einem oder dem andern Sinne dreht, die besondere Aufhellung des Feldes abgeschwächt wird, und zwar gleichmässig in beiden Richtungen.

Aber der überzeugendste Beweis ist der folgende. Man reflektirt das durch die Röhre fallende Licht in unserm rotirenden Spiegel und betrachtet nun nicht den Funken, oder nicht ausschliesslich den Funken, sondern das schmale helle Band, in welches der letzte Lichtrest, der durch den Polarisator, die Röhre und den

Analysator hindurchgegangen ist, zerlegt wird. (Das Licht wird im rotirenden Spiegel zerlegt.)

Bei jedem Funken hellt sich der schwache Lichtschein zu einer Punktreihe auf. Wenn nun der Analysator etwas gedreht wird, so hellen sich einige Punkte auf, während die dazwischen liegenden erblässen; dreht man so weit, bis diese ganz verschwinden, so kann man die Drehung messen; sie ist ziemlich bedeutend. Die Punkte sind die Oscillationen des polarisirten Lichts; nebeneinander betrachtet, stimmen sie, soweit sich feststellen lässt, mit den Oscillationen des Funkens selbst absolut überein.

Aus der grossen Masse der mit der Leydener Flasche zusammenhängenden Erscheinungen habe ich nur wenige ausgewählt, um sie Ihnen heute Abend vorzuführen. Ich hätte Ihnen viel mehr zeigen können; eine noch grössere Anzahl eignet sich vorläufig noch nicht zur Vorführung vor einem ausgedehnten Kreise, da sie schwer und nur in unmittelbarer Nähe sichtbar sind.

So sehen wir ein altes abgenutztes Thema im Licht der Theorie in ganz unerwarteter Weise an Reiz und Glanz gewinnen. Aehnlich verhält es sich heutzutage mit vielen andern längst bekannten Thatsachen.

Die Gegenwart ist eine Epoche erstaunlicher Thätigkeit auf physikalischem Gebiete. Der Fortschritt zählt nach Monaten und Wochen, fast nach Tagen. Die lange Wellenreihe vereinzelter Entdeckungen schwillt

zu einer mächtigen Woge an, auf deren Gipfel wir schon ein grossartiges, herannahendes Allgemeingesetz zu unterscheiden beginnen. Die Spannung wird fieberhaft, manchmal fast peinlich. Uns ist zu Muthe, wie einem Knaben, der lange auf den stummen Tasten einer verlassenen Orgel gespielt hat; plötzlich haucht eine unsichtbare Macht belebenden Odem in die Bälge. Staunend nimmt er wahr, dass der Druck seiner Finger einen Widerhall weckt; und er zögert, halb entzückt, halb besorgt, dass er betäubt werde von der Tonfülle, die er nun willkürlich heraufzubeschwören vermag.

