

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Neueste Anschauungen über Elektrizität

Lodge, Oliver

Leipzig, 1896

Theil I. Einleitung und Elektostatik

THEIL I

EINLEITUNG UND ELEKTOSTATIK

KAPITEL I

GRUNDBEGRIFFE

I. „Wir wissen nicht, was Elektrizität ist“, so lautet eine oft gehörte Behauptung, die viel Wahres enthält und doch weniger zutreffend ist, als sie es vor etwa zwanzig Jahren war. Einiges wissen wir jetzt darüber; wenn auch die neuen Ansichten erst im Entstehen begriffen sind und noch mancher Aenderung bedürfen werden, so ist doch ein gewisser Fortschritt zu verzeichnen. Es soll meine Aufgabe sein, in vorliegendem Buch den gegenwärtigen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Elektrizität nach bestem Können zu schildern.

Zunächst möchte ich, der Uebersichtlichkeit halber, den ganzen Gegenstand in vier grosse Gebiete eintheilen.

(I) Ruhende oder statische Elektrizität. Dieses Gebiet umfasst sämtliche Erscheinungen, welche mit Zwangszuständen in isolirenden oder dielektrischen

Mitteln zusammenhängen und durch die Nähe elektrischer Ladungen oder durch in sie eingebettete, elektrisirte, ruhende Körper hervorgerufen werden; ferner die Methoden, derartige elektrische Ladungen zu erzeugen, und die Gesetze ihrer Wechselwirkungen.

(2) Elektrizität in Fortbewegung oder strömende Elektrizität. Dieses Gebiet behandelt sämtliche Erscheinungen, die beim Durchgang der Elektrizität durch metallische Leiter, durch chemische Verbindungen und dielektrische Mittel entstehen, sowie die Methoden, Elektrizität in dauernde Bewegung zu versetzen, und die Gesetze ihrer Strömung.

(3) Rotirende Elektrizität oder Magnetismus. Dieses Gebiet behandelt Erscheinungen, welche dadurch entstehen, dass sich Elektrizität in kreisender oder Wirbelbewegung befindet, die Methoden, derartige Wirbel zu erzeugen, die durch sie hervorgerufenen Zwangszustände und die Gesetze ihrer Wechselwirkungen.

(4) Strahlende Elektrizität oder elektrische Schwingungen. Dieser Abschnitt behandelt die wellenförmige Fortpflanzung periodischer Störungen in verschiedenen Mitteln; die Gesetze der Wellengeschwindigkeit, Wellenlänge, Reflexion, Interferenz, Dispersion, Polarisation und eine Anzahl von Erscheinungen, die bisher unter dem Namen „Licht“ erforscht wurden. Dieser Theil der elektrischen Wissenschaft, obwohl der dunkelste und schwierigste in ihrem ganzen Bereich, ist uns doch verhältnissmässig länger und genauer bekannt, als irgend ein

anderer Zweig derselben und zwar deshalb, weil wir ein eigenes Sinnesorgan zu seiner Wahrnehmung besitzen.

Um nun eine Uebersicht von mässigem Umfang über diese vier umfassenden Gruppen zu geben, muss ich voraussetzen, dass meine Leser mit den einfachsten Grunderscheinungen der Elektrizität bekannt sind, und schreite sofort zu ihrer Erklärung.

2. Unsere Fortschritte in der Erkenntniss des eigentlichen Wesens der Elektrizität, abgesehen von der blossen Prüfung und Verallgemeinerung bereits bekannter That-sachen, knüpfen sich an die Namen der grossen englischen Forscher FRANKLIN, CAVENDISH, FARADAY und MAXWELL, denen der Name THOMSON hinzugefügt werden müsste. Es widerstrebt jedoch unserem Gefühl, über Werke lebender Forscher ein Urtheil zu fällen; auch hat Maxwell seine Verpflichtungen gegen den berühmten Zeitgenossen sehr ausdrücklich anerkannt. Seine Wirksamkeit wird einst von einer berufeneren Feder als der meinigen geschildert und von künftigen Generationen von Forschern gewürdigt werden. Daher dürfen wir wohl, andere Rücksichten bei Seite lassend, Maxwell als den Vertreter der grossen englischen Schule von mathematischen Physikern aufstellen, durch deren Einfluss Cambridge zu neuem, hohem, wissenschaftlichem Leben erwacht ist, und deren grosse Errungenschaften einst den Ruhm unseres Jahrhunderts bilden werden.

Die Ansichten über Elektrisirung, die ich hier darlegen werde, haben sich in gewissem Sinne aus den

Anschaungen entwickelt, die Benjamin Franklin zuerst aussprach. Cavendish's genaue und scharfsinnige Versuche legten den Grund zur heutigen Lehre von der Elektrizität; aber er arbeitete mehr für sich als für die Mitwelt und war auf diesem Gebiet seiner Zeit weit voraus. Faraday musste das ganze Feld noch einmal durcharbeiten. In seiner charakteristischen Weise gab er ihm Erweiterungen und Zusätze, wie sie der ausgedehnteren Erkenntniss entsprachen, die ein halbes Jahrhundert später ihm zu Gebote stand. Beide Männer, insbesondere Faraday, verkehrten so innig mit der Natur, dass diese ihnen ihre Geheimnisse in einer Weise offenbarte, die gewöhnlichen Forschern unbegreiflich erscheint; aber während Ideenverbindungen, die an Intuition streifen, sie selbst zur Wahrheit führten, gelang es ihnen nicht immer den eigentlichen Werth der gefundenen Thatsachen ihren Zeitgenossen begreiflich zu machen. Da tritt Maxwell auf. In ihm vereinigen sich tiefste Einsicht, hervorragende Denkkraft, mathematische Schärfe und die Kraft des Ausdrucks. Er macht sich die Thatsachen zu eigen, geht ein auf die zwar wissenschaftliche, aber nicht fachmännische Sprache Faraday's, verknüpft dessen Beobachtungen mit den Theorien von Green, Stokes und Thomson, und aus dieser Vereinigung erwächst die neue elektrische Wissenschaft. Sie zeigt schon jetzt eine so kraftvolle Entwicklung, dass wir für die allernächste Zukunft noch grösseren, glänzenderen Offenbarungen zuversichtlich entgegensehen dürfen.

3. Bekanntlich glaubte man im vorigen Jahrhundert an ein elektrisches Fluidum oder eine elektrische Materie. Später trat eine Reaktion gegen diese Annahme ein. Man neigte sogar vor einigen Jahren dazu, das materielle Wesen der Elektrizität gänzlich zu bestreiten und sie nur als eine Energieform aufzufassen. Ein angeborenes aber hier ungerechtfertigtes Gefühl für Analogie führte zu der Vermuthung, dass, wie sich Schall, Wärme und Licht als Energieformen erwiesen hatten, auch die Elektrizität als solche erkannt werden würde. Die Erfahrung hat diese Hoffnung nicht bestätigt. Vielleicht ist die Elektrizität ein Stoff; Energie ist sie nicht. Allerdings stellt die Elektrizität unter der Einwirkung eines *Drucks* oder *in Bewegung* eine Energieform dar; ganz dasselbe gilt aber vom Wasser oder von der Luft, ohne dass wir deshalb deren materielles Wesen läugneten. Man achte auf den Sinn, in dem das Wort Elektrizität hier gebraucht ist. *Elektrisirung* ist das Resultat einer geleisteten Arbeit und ist sicherlich eine Energieform; sie wird erzeugt und vernichtet durch eine Arbeitsleistung. *Elektrizität* aber wird weder geschaffen noch zerstört; sie wird einfach bewegt oder in Spannung versetzt, wie Materie. Nie ist es gelungen, eine Spur positiver Elektrizität hervorzurufen, ohne dass sich die gleiche Menge negativer Elektrizität irgendwo ihr gegenüber vorgefunden hätte.

Diese Behauptung lässt sich am einfachsten beweisen

durch Versuche innerhalb eines geschlossenen, leitenden, isolirten Raumes oder Gefässes von beliebiger Grösse. Man mache in einem derartigen Raum sämtliche bekannte elektrische Versuche, man elektrisire Körper beliebig stark, bewege sie, lasse Funken überspringen u. s. w. und man wird finden, dass ein mit dem Raum verbundenes empfindliches Elektrometer nicht den leisesten, dauernden Ausschlag zeigt; d. h. dass der Raum absolut keine Ladung erhalten hat. Ich sage keinen *dauernden* Ausschlag, weil schwache, vorübergehende Ausschläge während des raschen Ausgleichs innerer Ladungen allenfalls vorkommen könnten. Ob sie möglich sind oder nicht, ist zweifelhaft; jedenfalls aber haben sie mit der gegenwärtigen Frage nichts zu thun. Alle die vorgenommenen Elektrisirungen haben nicht die kleinste Menge von Elektrizität erzeugt. Die einzige Art einen Raum zu laden, besteht darin, dass man die Ladung eines anderen Körpers von aussen in ihn einführt.

Dieses ist das erste der beiden grossen Gesetze. Es lässt sich auf die verschiedenste Art ausdrücken. Man kann z. B. sagen: die algebraische Summe der gesamten erzeugten Elektrizität ist immer gleich Null; oder: es ist unmöglich, positive Elektrizität zu erzeugen, ohne eine gleiche Menge negativer Elektrizität zu erhalten; oder: was ein Körper an Elektrizität gewinnt, muss ein anderer Körper verlieren.

Wenn man nun beobachtet, dass Etwas in genau

gleichen aber entgegengesetzten Mengen erzeugt wird, und dass ein Körper gewinnt, was der andere verliert, so erscheint es am zweckmässigsten und einfachsten, sich vorzustellen, dass dieses Etwas nicht in dem einen Körper entsteht und in dem anderen vernichtet, sondern dass es einfach *übertragen* wird. *Die Elektrizität verhält sich in dieser Beziehung genau wie eine Substanz.* Schon Franklin war zu diesem Schlusse gekommen.

4. Das zweite grosse Gesetz lautet dahin: die Elektrizität strömt stets, unter allen Umständen, in einem geschlossenen Kreis und die gleiche Menge durchläuft jeden Abschnitt des Kreises. Es ist also unmöglich, Elektrizität an einer Stelle des Raumes zu verdünnen und sie an einer anderen zu verdichten.

Derselbe Gedanke lässt sich noch auf andere Weise ausdrücken: das Innere eines hohlen Leiters nimmt keinerlei Ladung auf, sondern jede Spur einer Ladung befindet sich auf der äusseren Oberfläche, ohne zu einer messbaren Tiefe einzudringen.

Oder man kann auch sagen: die gesammte inducirte Ladung ist stets der inducirenden Ladung gleich und entgegengesetzt.¹⁾

Auch dieses zweite Gesetz kann mit Hülfe des oben erwähnten isolirten Raumes erläutert werden. Hat man sich davon überzeugt, dass die im Innern vorge-

¹⁾ § 14a am Schluss des nächsten Kapitels erklärt, inwiefern diese Sätze identisch sind und geht näher auf diesen grundlegenden Theil des Gegenstandes ein.

nommenen Elektrisirungen auf ein mit der Aussenwand verbundenes Elektroskop keine Wirkung ausüben, so führe man durch eine vorübergehend geöffnete Klappe eine elektrische Ladung in den Hohlraum ein. Sofort wird dieser mit einer bestimmten Menge Elektrizität geladen, und zwar mit genau der Menge, welche in ihn eingeführt wurde. Die Ladung braucht durchaus nicht den Wänden mitgeteilt zu werden; sie muss sich nur ganz innerhalb derselben befinden. Man kann die Ladung sich frei bewegen oder sie auf die Wände überspringen lassen, ohne dass das Elektroskop dadurch beeinflusst würde. Auch wenn man dieses im Augenblick, wo der Funken überspringt, durch das Mikroskop beobachtet, wird man nicht die leiseste Zuckung daran wahrnehmen. Beide Versuche mit dem Hohlraum wurden von Faraday ausgeführt; zu dem letzteren benutzte er einen Eiseimer als isolirten Raum, was zu dem Namen „Eiseimerversuch“ Veranlassung gab.

Um dieselbe Reihe von Thatsachen auch auf andere Weise zu erläutern, bediene man sich eines isolirten Vogelbauers. In diesem befinde sich ein Elektroskop, das durch einen Draht mit den Stäben des Käfigs verbunden sei. Man kann das Bauer nun beliebig stark laden, kann sein Potential von 1 Mill.Volt positiv auf 1 Mill. Volt negativ verändern, kann ihm Funken von jeder Länge entziehen: wenn das Gitter so dicht ist, dass der Käfig als ein wirklich geschlossenes Gefäss zu betrachten ist, so wird das Elektroskop nicht

ausschlagen. Bei diesem Versuch muss das Elektroskop mit den Stäben des Käfigs verbunden sein; ist dies nicht der Fall, so kann das Eindringen von geladener Luft durch das Gitter Störungen hervorrufen. Denn sobald eine Ladung in das *Innere* des Käfigs gelangt, wird das Elektroskop beeinflusst; nur wenn eine Verbindung mit den Wänden besteht, bleibt die Ladung machtlos.

Die offenen Gitterstäbe sind insofern nicht einwurfsfrei, als elektrisirte Luft zwischen ihnen einzudringen vermag; ebenso wie auch ein elektrisirtes Markkugelchen hineingeworfen werden könnte. Diese Fehlerquelle ist auch durch Verengung des Gitters nicht zu beseitigen; denn elektrisirte Luft, die ich von einer Spitze aus durch sehr feine, zu der Erde abgeleitete Kupfergase trieb, brachte noch starke Wirkungen an einem dahinter aufgestellten Elektroskop hervor.

Ein Raum mit festen Metallwänden wäre freilich gegen derartige Störungen gesichert; hierdurch würde aber die Beobachtung des Elektroskops erschwert. Faraday baute daher eine Kammer, in der er selbst Platz hatte, und führte so den Versuch in befriedigender Weise aus.

Das gründlichste Verfahren, um volle Sicherheit über die Eigenschaft der Elektrizität, welche allen diesen Versuchen zu Grunde liegt, zu erhalten, hat Cavendish angewendet in seinem berühmten Experiment, das die Franzosen zuweilen den Biot'schen Versuch nennen.

Er führte einer isolirten, in zwei halbkugelförmigen Hülsen steckenden Kugel eine starke Ladung zu, entfernte die Hülsen auf mechanische Weise und verband die entblösste Kugel sofort mit einem empfindlichen Elektroskop. Nicht die leiseste Spur einer Ladung ist daran nachzuweisen. Dieser Versuch wurde im Laboratorium von Cavendish zu Cambridge durch Clerk Maxwell und Donald Mc. Alister mit einem Quadrant-Elektrometer von Thomson und allen modernen Hilfsmitteln wiederholt und ergab ein vollständig negatives Resultat.¹⁾

Diese Versuche sind von höchster Bedeutung und grundlegend für die Anschauungen über das Wesen der Elektrizität. Ueberlegen wir nun, wie das Gelernte sich am besten ausdrücken lässt.

5. Nachdem wir uns überzeugt haben, dass es unmöglich ist, einen Körper absolut mit Elektrizität zu laden; dass diese sich zwar von Ort zu Ort bewegen lässt, dass sie aber stets und sofort den Körper wieder erfüllt, dem sie entzogen war, so dass keine Stelle im Raum mehr oder weniger damit erfüllt werden kann, als dies bereits der Fall ist; dass es unmöglich

¹⁾ Siehe Maxwell „Electrical Researches of Cavendish“ pag. 104 und 417. Ein interessanter kleiner Versuch von Vernon Boys mit Seifenblasen veranschaulicht die Thatsache, dass die elektrische Ladung nicht einmal um die Dicke weniger Molekeln unter die Oberfläche dringt. Eine Seifenblase, die sich innerhalb einer anderen befindet, erweist sich nämlich als vollständig geschützt gegen alle elektrostatischen Kräfte, die man auf sie anzuwenden im Stande ist.

ist, durch irgendwelche Erhöhung des Potentials eine Spur von Elektrizität in das Innere eines Hohlraums hineinzupressen; und dass ferner, wenn man eine Ladung einführt, genau die gleiche Menge von Elektrizität sofort durch die Wände nach aussen tritt, so bezeichnen wir diese Erscheinung einfach, indem wir sagen: Die Elektrizität verhält sich wie eine Substanz oder ein Fluidum von völliger Incompressibilität, das den ganzen Raum erfüllt, d. h. sie verhält sich wie eine vollkommene, alles durchdringende *Flüssigkeit*. Ich will damit keineswegs behaupten, dass die Elektrizität eine derartige Flüssigkeit *ist*; ich konstatire nur die unbestreitbare Thatsache, dass sie sich wie eine solche verhält, d. h. dass sie denselben Gesetzen gehorcht. (§ 14 a.)

Man hüte sich vor der Vorstellung, dass die Elektrizität nothwendig eine Flüssigkeit sein müsse, weil sie denselben Gesetzen gehorcht, und achte stets auf das Strengste darauf, ob sich nicht ein Unterschied in dem Verhalten Beider zeigt. Denn ein einziger unvereinbarer Widerspruch — nicht eine blosse Abweichung, sondern eine wirklich widersprechende Eigenschaft — wäre hinreichend, um den Gedanken an die Möglichkeit einer Identität umzustossen. Bis jedoch ein solcher Widerspruch auftaucht, sind wir berechtigt, ja noch mehr, sind wir gezwungen, die Analogie festzuhalten. Versagen wir uns dieses Hilfsmittel, so bleiben uns nur zwei Auswege: entweder wir müssen Mathema-

tiker ersten Ranges werden, im Stande sein unter Symbolen zu leben und uns ohne bildliche Vergleiche zu behelfen, oder wir müssen über die neuesten Fortschritte auf dem Gebiet der Elektrizität im Unklaren bleiben. Ich brauche wohl kaum zu sagen, dass ich unter „*neuesten* Anschauungen“ keineswegs *endgültige* Anschauungen verstehe; auch liegt es nicht in meiner Absicht, von den Gedanken und Vorstellungen zu berichten, die, noch halb unfertig, Etlichen der kühnsten Forscher vorschweben mögen; sondern ich will nur versuchen, die Stufe zu bezeichnen, die wir sicher erreicht haben, die Richtung anzugeben, in der unmittelbare Fortschritte bevorstehen, und ich möchte meine Ueberzeugung aussprechen, dass die nächsten fünf und zwanzig Jahre unsere Ansichten eben so rasch überholen werden, als wir die Begriffe überflügelt haben, die in den heutigen Schulbüchern noch enthalten sind.

6. Angenommen, wir lebten, wie die Fische im Meer, in einem unbegrenzten Ocean einer Alles durchdringenden, vollkommenen Flüssigkeit, die sich weder zusammendrücken noch ausdehnen liesse, wie könnten wir das Vorhandensein dieser Flüssigkeit überhaupt gewahr werden? Nicht durch ihr Gewicht, denn wir könnten sie aus keinem Theil des Raums entfernen, um sie zu wägen.

Allerdings vermögen wir die Luft zu wägen, aber nur deshalb, weil wir sie verdichten und verdünnen können. Ehe man ihren Druck und ihr Gewicht be-

stimmen konnte, musste eine Expansions- oder Compressionspumpe erfunden sein.

Wäre die Luft weder compressibel noch ausdehnungsfähig, wäre sie eine vollkommene Flüssigkeit ohne irgend ein Vacuum, so blieben alle Pumpen nutzlos, und es würde unmöglich sein, über Gewicht und Druck der Atmosphäre etwas zu erfahren.

Welche Möglichkeiten haben wir nun, um uns von dem Vorhandensein einer vollkommenen Flüssigkeit zu überzeugen? Vier Wege würden uns offen stehen:

I. Wir pumpen die Flüssigkeit aus einem elastischen Beutel in einen anderen (nicht aus einem Eimer in den anderen, denn wenn wir auf dem Grunde des Meeres lebten, so würden wir nicht Eimer füllen und entleeren wollen; wir könnten nur elastische Beutel füllen oder entleeren) und beobachten die eintretenden Spannungen in dem Beutel, sowie dessen Zerplatzen, wenn er über-voll ist. (Wasser oder Luft kann aus einem elastischen Beutel in einen anderen gepumpt werden. Die Analogie mit einer Elektrisirmaschine, die zwei Leiter entgegengesetzt ladet, d. h. die Elektrizität aus dem einen in den anderen pumpt, ist einleuchtend.)

II. Winde und Strömungen. Wir beobachten die Wirkungen, die eintreten, wenn sich die Flüssigkeit durch Röhren oder poröse Körper bewegt, ferner die Wirkungen ihres Beharrungsvermögens und ihrer lebendigen Kraft. (Ein in einer Röhre aufgehängtes Fähnchen, das von einem Wasserstrom abgelenkt wird, liesse sich

ungefähr einem Galvanometer vergleichen; ebenso ist die Wirkung, die z. B. bei einem hydraulischen Widder, durch das plötzliche Aufhalten eines Wasserstromes eintritt, der Selbstinduktion einigermassen analog.)

III. Wir erzeugen Strudel oder Wirbel in der Flüssigkeit und beobachten die Wirkung dieser Wirbel auf einander, ihre Anziehungen und Abstossungen. (Wirbelwinde, Wind- und Wasserhosen, Cyklone, Strudel; Ähnlichkeit mit einem Elektromagnet.)

IV. Wir erregen Wellen in der Flüssigkeit, d. h. wir rufen Erscheinungen hervor, die in gewöhnlichen Medien vermittelt des Ohres in uns die Empfindung erzeugen, die wir „Schall“ nennen.

Durch diese vier Methoden, und meines Wissens *nur* durch diese sind wir mit der Elektrizität bekannt geworden. Sie entsprechen den vier grossen Abtheilungen, die wir am Anfang des Kapitels aufstellten. (§ 1.)

7. Es zeigen sich aber¹ auf den ersten Blick wichtige Unterschiede zwischen dem Verhalten einer materiellen Flüssigkeit, und dem Verhalten der Elektrizität. Zunächst ist es zweifelhaft, ob die Elektrizität an sich, unabhängig von der Materie, Beharrungsvermögen besitzt. Es ist keineswegs sicher, dass dies nicht der Fall ist. Die von Maxwell vorgenommenen Versuche mit negativem Resultat (§ 39) beweisen mit Nothwendigkeit nur so viel, dass die Elektrizität entweder sehr langsam strömt, oder dass der elektrische

Strom aus zwei gleichen Strömen von gleicher lebendiger Kraft aber entgegengesetzter Richtung besteht. Die Gesetze der elektrischen Strömung in Leitern deuten freilich darauf hin, dass kein Beharrungsvermögen vorhanden ist. (§ 48.) Dieser Umstand würde entscheidend sein, wenn nicht Prof. Poynting in einer kürzlich erschienenen ausgezeichneten Arbeit ganz andere Gründe dafür anführte, welche die Frage vorläufig offen lassen. Auf der anderen Seite deuten die Erscheinungen des Magnetismus entschieden auf das Vorhandensein von Beharrungsvermögen oder einer entsprechenden Eigenschaft hin. Lassen wir diese Frage zunächst beiseite; jedenfalls unterliegt es keinem Zweifel, dass, wenn die Elektrizität mit isolirender oder dielektrischer Materie verbunden ist, die *Kombination* beider ganz sicher Beharrungsvermögen besitzt. (§§ 38 u. 39.)

8. Bedeutsamer gestaltet sich ein anderer Unterschied zwischen dem Verhalten der Elektrizität und dem einer gewöhnlichen incompressibeln Flüssigkeit, der bei dem vierten, die Wellenbewegung betreffenden Abschnitte zum Vorschein kommt. Bei einer incompressibeln Flüssigkeit würden die Wellengeschwindigkeit und Wellenlänge unendlich sein, und es könnten diejenigen Erscheinungen nicht bestehen, die mit der allmählichen Fortpflanzung der Wellen zusammenhängen. In einem solchen Mittel könnten daher Schallschwingungen im gewöhnlichen Sinne nicht stattfinden. Auf der anderen Seite ist es gewiss, dass die Schwingungen, um die es sich bei der

Lichtstrahlung handelt, und die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung stattfinden — es sind dies Transversalschwingungen — in einem Körper mit den einfachen Eigenschaften einer gewöhnlichen Flüssigkeit unmöglich fortgepflanzt werden können. Sie können nur durch ein Mittel von einer gewissen Starrheit übertragen werden. Wir müssen also annehmen, dass der Aether zwar flüssig ist in dem Sinne, dass er Körpern gestattet, sich frei hindurchzubewegen, dass er aber für ausserordentlich schnelle und kleine Schwingungen wenigstens eine gewisse Starrheit besitzt. Kann man einer Flüssigkeit solche Starrheit verleihen, ohne sie in einen festen Körper zu verwandeln? Das ist die grosse und schwierige Frage, die ich bereits in der Vorrede angedeutet habe und die ich im XII. Kapitel nochmals berühren werde. Es kann gezeigt werden, dass, obwohl eine Flüssigkeit in Ruhe nicht annäherungsweise die Eigenschaften eines festen Körpers besitzt, diese im Zustand der Bewegung doch von ihr erworben werden. Man treibe Wasser rasch durch einen an beiden Enden befestigten, biegsamen, in sich verschlungenen Gummischlauch, so wird es sofort halbstarr werden; man denke sich nun jedes Theilchen einer Flüssigkeitsmenge im Zustand heftigster Bewegung — nicht der Vorwärtsbewegung, sondern einer Bewegung in winzigen, geschlossenen Kurven, einer sogenannten Wirbelbewegung — auch diese wird starr oder halbfest; sie erlangt die Fähigkeit, transversale Schwingungen fortzupflanzen. Eine rohe Analogie

gewährt die Gallerte. Sie besteht fast ganz aus Flüssigkeit und ist doch starr. Sie ist starr, weil eine elastische Haut jedes Wassertheilchen umschliesst; es ist als bestände sie aus unzähligen Wassersäckchen. Eine Gummibläse, die man mit Wasser füllt und auf einen Teller legt, sieht aus und verhält sich ganz ähnlich wie Gallerte, bis man die Blase ansticht und sie zusammenfällt. Diese festigende Wirkung, die eine elastische Haut auf ruhendes Wasser ausübt, wird besser, wenn auch nicht so leicht nachgeahmt, indem man das Wasser in lauter feine Wirbelbewegungen versetzt. Alle Arten Elasticität erklären sich, wie Sir W. Thomson nachgewiesen hat, einfach durch Bewegung. Nicht als eine einfache Flüssigkeit, sondern als eine Flüssigkeit im Zustande heftiger, ausserordentlich feiner Wirbelbewegung — als ein Wirbelschwamm, wie man sich ausgedrückt hat — wird der Aether schliesslich erkannt werden. Da aber diese Vorstellung vorläufig noch schwer fasslich ist, so geben wir ihr die unbestimmtere Fassung: der Aether enthält Elektrizität wie die Gallerte das Wasser enthält, und die Starrheit, welche die Transversalschwingungen ermöglicht, ist keine Eigenschaft des in der Gallerte enthaltenen Wassers, sondern muss zurückgeführt werden auf die Art und Weise, wie das Wasser in den Zellen der Gallerte festgehalten wird.

Vorläufig wollen wir aus praktischen Gründen bei der Annahme bleiben, der Aether bestehe aus Elektrizität, die sich in einem ähnlichen Zustand des Ge-

bundenseins befinde wie Wasser in Gallerte; wir werden zu derselben Ansicht gedrängt durch die Forderungen der unter §§ 1 und 6 besprochenen, elektrostatischen oder Spannungsmethode zur Untersuchung der Eigenschaften der Elektrizität. Denn ohne eine gewisse Scherungsfestigkeit sind die Eigenschaften der Isolatoren schwer zu begreifen. Sollte es sich herausstellen, dass der Raum ein Leiter ist, was mir freilich völlig ausgeschlossen erscheint, dann werden wir auf die unklare empirische Vorstellung zurückkommen müssen, dass der Aether des Weltenraumes, etwa wie eine Art verklärten Pechs, für rasche Schwingungen fest und für stetige Kräfte flüssig ist.

KAPITEL II

DAS DIELEKTRICUM

9. Wenden wir uns nun wieder der Elektrostatik zu. Wir haben uns also vorzustellen, dass wir, wie Fische im Meer, in dem unbegrenzten, Alles durchdringenden Ocean einer vollkommenen, incompressiblen Flüssigkeit leben. Aber das Bild ist nicht völlig zutreffend, denn befänden wir uns wirklich in diesem Zustande, so würden wir von dem Vorhandensein dieser Flüssigkeit ebenso wenig wissen, als Tiefseefische von dem Wasser wissen, worin sie schwimmen. In dieser Lage würden wir uns befinden, wenn alle Körper vollkommene Leiter wären. In einem vollkommen freien Meer giebt es keine Isolation; kein Hinderniss widersetzt sich den Strömungen der Flüssigkeit. Das Vorhandensein von Isolatoren aber macht allein die Elektrostatik möglich. Wir könnten daher allerdings die Strömung aufhalten und mittelst geschlossener Gefäße bestimmte Mengen einer uns rings umgebenden Flüssigkeit aufspeichern. Wie aber sollten

wir die Flüssigkeit aus einem Gefäß in das andere pumpen, sodass das eine positiv, das andere negativ geladen würde? Das wird nur möglich, wenn wir deren Wände elastisch machen, oder wenn wir elastische Beutel und elastische Querwände in Röhren anwenden. Wir können uns also ein stetiges, isolirendes Mittel (wie die Atmosphäre oder den Raum) nur vorstellen nach dem Vorbild einer Gallerte, durch welche eine Flüssigkeit nur in Folge von Rissen, Kanälen und Höhlungen hindurchströmen kann.

Denken wir uns nun statt einer unbegrenzten Flüssigkeit eine unbegrenzte Gallerte oder elastische Substanz, in der die Flüssigkeit eingeschlossen ist, und durch die sie sich nicht ohne gewaltsame Zerstörungen bewegen kann, so haben wir das annähernde Bild einer allgemeinen isolirenden Atmosphäre. Unser Ocean von Flüssigkeit ist nicht frei und beweglich wie Wasser, sondern steif und gebunden wie Gallerte.

Nichtsdestoweniger können sich *Körper* frei hindurchbewegen; nur die *Flüssigkeit* selbst ist gebunden. Es ist nicht leicht, sich von der Bewegung gewöhnlicher Körper durch das isolirende Mittel des Weltenraumes ein klares Bild zu machen, ohne über unsere Analogie von der Gallerte hinaus zu jener feineren und wahreren Theorie vom Wirbelschwamm überzugehen; es ist eben bezeichnend für Analogien, dass sie nicht ausreichen, wenn man sie zu weit treibt, so nützlich sie bis zu einem gewissen Punkt sein mögen.

Entsprechen die Isolatoren elastischen Querwänden oder undurchlässigen, obwohl nachgiebigen Massen, so entsprechen die Leiter Hohlräumen, oder vielmehr porösen oder schwammigen Körpern, die unter mehr oder weniger Reibungswiderstand für Flüssigkeiten durchlässig sind. Während also Körper, welche die Materie leicht hindurchlassen, für Elektrizität sich als undurchlässig erweisen, so sind z. B. metallische Körper, die dem Eindringen von Materie durchaus widerstehen, für Elektrizität vollkommen durchlässig. Diese Umkehr der gewöhnlichen Vorstellungen von Durchlässigkeit wird dem Leser anfangs eine gewisse Schwierigkeit bereiten.

Betrachten wir diese jedoch als überwunden und denken wir uns einige auf dem Experimentirtisch isolirt aufgestellte Kugeln und ihre Verbindungen aus Kupferdraht als ebensoviele Hohlräume und Röhren. Sie sollen sich in einem stetigen und undurchlässigen elastischen Mittel befinden, das sie wie uns umgiebt und sich durch den ganzen Raum erstreckt, soweit keine Leiter darin sind. Die Hohlräume und das Mittel aber sollen gleichmässig erfüllt sein von dem Elektrizitätsfluidum. Dieses Fluidum, das in den Isolatoren festgehalten wird, kann sich in den Leitern frei bewegen; daraus folgt, dass sein Druck oder Potential gleich ist in allen Theilen eines Leiters, in dem es sich nicht fortbewegt. Denn wäre irgendwo ein stärkerer Druck vorhanden, so würde alsbald ein Fliesen stattfinden, so

lange bis der Druck ausgeglichen wäre. Bei Isolatoren dagegen ist dies nicht der Fall. Verschiedenheiten des Drucks kommen bei Isolatoren sehr häufig vor und werden selbstverständlich von einer Spannung des Mittels begleitet.

Nun ist es ausserordentlich lehrreich, von diesem Gesichtspunkte aus die gebräuchlichsten elektrischen Versuche wieder durchzugehen; sich vorzustellen, wie das Fluidum ungehindert durch Leiter fliesst und in diesen zu einem Zustand des Gleichgewichts oder des gleichmässig vertheilten Drucks gelangt, während es Isolatoren in Spannung versetzt, ähnlich wie Wasser unter Hochdruck elastische Wände spannt und diese schliesslich sprengt, wenn sie zu dünn sind.

10. Bekanntlich nahm man früher an, die Elektrizität sei ein Fluidum; und zwar bestanden hierüber zwei Theorien, die Theorie von Franklin, welche nur *ein* Fluidum, und die Theorie von Symmer und Anderen, welche zwei Fluida annahm. Beide haben innerhalb gewisser Grenzen viel für sich. Allerdings sind sie in vielen Beziehungen vollständig falsch und irreführend; *zu verwerfen sind sie aber nicht deshalb, weil sie das Vorhandensein eines Fluidums voraussetzen, sondern weil sie sich auf die Vorstellung einer Wirkung in die Ferne gründen.* Sie lenken unsere Aufmerksamkeit auf die Leiter; Faraday dagegen lehrte uns unser Augenmerk auf das die Leiter umgebende, isolirende Mittel zu

richten; das „*Dielektricum*“, wie er es nannte. Hier ist der eigentliche Sitz sämtlicher Erscheinungen; die Leiter sind nur Unterbrechungen darin.

Für Faraday war der die Leiter umgebende Raum erfüllt mit „Kraftlinien“, und sein Hauptverdienst in der Elektrizität besteht darin, dass er unsere Aufmerksamkeit von den äusseren und sichtbaren auf die inneren und wesentlichen Vorgänge gelenkt hat. Versuchen wir seine Anschauungen uns anzueignen, ehe wir fortfahren. So weit sie reichen, sind sie vollständig richtig und frei von Voraussetzungen.

Wenn wir heute den alten, grundlegenden Versuch wieder vornehmen, der darin besteht, dass wir zwei Körper an einander reiben, sie von einander entfernen und ihre Anziehung und Abstossung an einem Markkügelchen zeigen, wie würden wir den Vorgang jetzt schildern? Etwa folgendermassen:

Man bringt zwei isolirte Scheiben aus verschiedenem Stoff, etwa aus Metall und aus Seide, mit einander in Berührung; durch die Berührung geht Elektrizität von dem Metall auf die Seide über; man hilft durch Reiben der Uebertragung nach, da Seide ein Nichtleiter ist; hierauf trennt man die Scheiben. Sofort entsteht in dem Mittel zwischen beiden eine Spannung. Diese Spannung lässt sich darstellen, indem man von einer Scheibe zur anderen eine Reihe von Linien, sogenannten Kraftlinien, zieht, deren Richtung mit der Richtung der Spannung an jedem Punkte genau übereinstimmt. Man

hat sich, sagt Faraday, diese Spannung vorzustellen, als ob die Scheiben durch Gummibänder verbunden wären, welche die Eigenschaft besässen, sich nicht blos zusammenzuziehen, sondern auch sich unter einander abzustossen; mit anderen Worten, es besteht sowohl eine Spannung längs der Kraftlinien, als auch ein Druck senkrecht zu ihnen. Bringt man die Scheiben nahe an einander, so sind die Linien kurz und beinahe gerade. (Fig. 1.) Je weiter man aber die Scheiben von einander entfernt, desto stärker krümmen sich die Linien, indem sie dabei von der gemeinsamen Axe der beiden Schei-

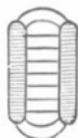


Fig. 1. — Zustand des Mittels in der Umgebung zwei entgegengesetzt geladener Scheiben, die einander genähert sind.

ben abweichen. Einige Linien greifen sogar auf die Rückseite der Scheibe über (Fig. 2), so dass schliesslich, wenn die Scheiben unendlich weit von einander entfernt sind, ebenso viele Linien von ihrer Rückseite ausgehen, wie von ihrer Vorderseite; alsdann haben wir zwei im gewöhnlichen Sinne frei im Raum befindliche, geladene Körper.

Der Spannungs-Zustand des Mediums zwischen den Scheiben erzeugt in Beiden die Neigung, sich wieder zu vereinigen, gleichsam als wären sie mit einander durch Gummibänder, die unendlich kurz waren, ehe

sie gestreckt wurden, verbunden. Die Enden der Kraftlinien sind die sogenannten „Elektrisirungen“ oder „Ladungen“, und die Linien haben das Streben sich zu verkürzen und zu verschwinden, damit ihre Enden zusammenfallen und die Spannung nachlasse. Wenn eine der beiden Scheiben einen anderen Leiter berührt, so gehen einige ihrer Linien sofort auf diesen über;

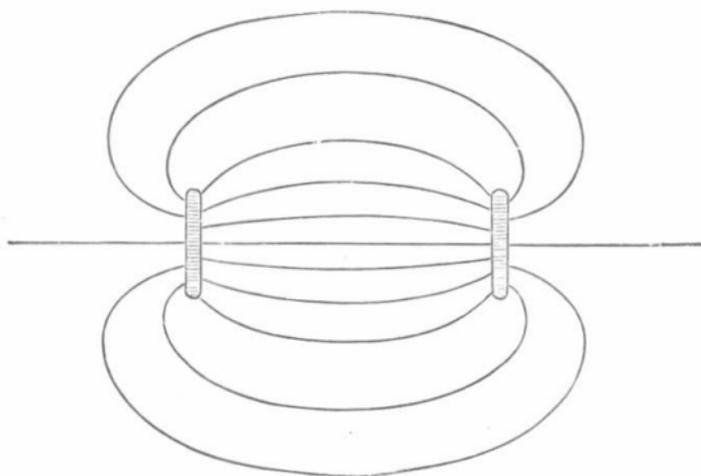


Fig. 2. — Zustand des Mittels in der Umgebung zwei entgegengesetzt geladener Scheiben, die von einander entfernt sind.

d. h. die Ladung ist übertragbar und der neue Körper wird, ganz wie die Scheibe, von der er die Linien übernahm, von der anderen Scheibe angezogen. Wenn der neue Körper die Scheibe vollständig umschliesst, so gehen ihre sämtlichen Kraftlinien auf ihn über und die Scheibe kann völlig neutral daraus hervorgezogen werden. (Siehe Faraday's Versuch mit dem Eiseimer [§ 4].)

11. Man hänge nun zwischen den zwei geladenen Scheiben ein vergoldetes Markkugelchen auf. Da es ein Leiter ist, so nimmt es selbst keine Spannung an, sondern dient nur gewissermassen als Brücke. Es gehen nämlich einige der Kraftlinien hindurch, oder vielmehr sie hören auf der einen Seite auf und fangen

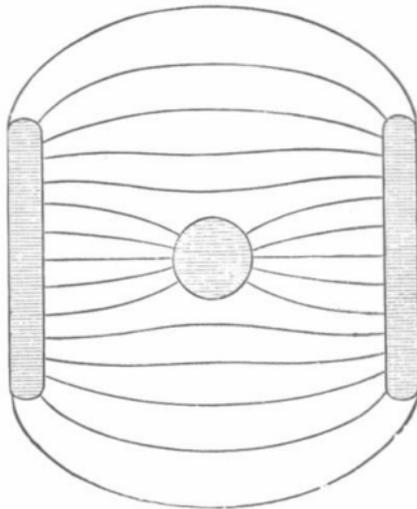


Fig. 3. — Zustand des Mittels zwischen zwei Scheiben, nach Einführung einer ungeladenen Metallkugel. Die beiden Hälften der Kugel sind durch Influenz entgegengesetzt geladen.

auf der anderen wieder an und geben so den beiden Hälften des Kugelchens entgegengesetzte „inducirte“ Ladungen. (Fig. 3.) Berührt nun das Kugelchen eine der beiden Scheiben, so verschwinden die Linien, die es mit dieser Scheibe verbanden, und es bleiben nur noch diejenigen Linien bestehen, die zu der anderen Scheibe führen. Es hat, mit anderen Worten,

ohne entsprechende Gegenwirkung einige der Linien aufgenommen, die zuvor der berührten Scheibe angehörten. Diese ziehen es nach der entfernten Scheibe hinüber, um dort gleichfalls sich zu verkürzen und zu ver-

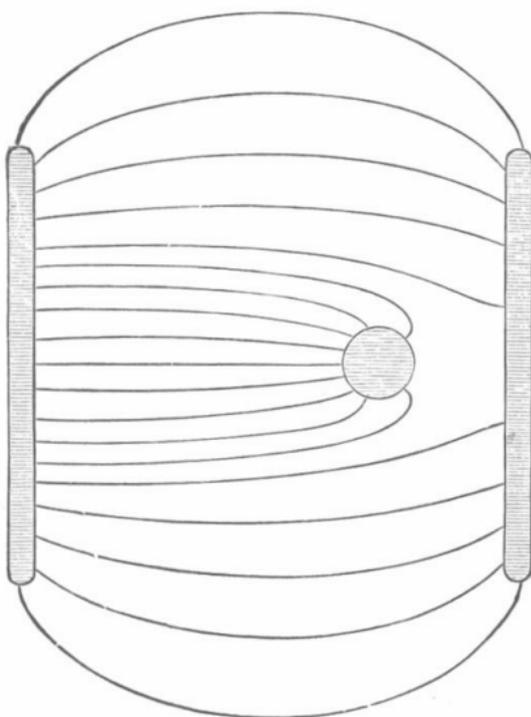


Fig. 4. — Zustand des Mittels in der Umgebung zweier entgegengesetzt geladener Scheiben, zwischen denen eine Metallkugel schwingt, die soeben die rechte Scheibe berührt hat. (Entladung durch abwechselnde Berührung.)

schwinden. Hier übernimmt aber das Kügelchen wieder neue Linien und wandert mit diesen nach der ersten Scheibe zurück, wo sich derselbe Vorgang wiederholt. (Fig. 4.) So sammelt und vernichtet das Kügelchen allmählich sämtliche Linien, bis schliesslich die Scheiben

entladen sind. Der Versuch lässt sich leicht ausführen; er erläutert das Princip der Entladung durch abwechselnde Berührung.

Diese Art den Vorgang darzustellen ist frei von jeglicher Hypothese — sie ist einfach wahr. Allerdings muss von vornherein zugegeben werden, dass es „Kraftlinien“ ebensowenig giebt, wie „Lichtstrahlen“. Beides sind Ausdrücke, deren man sich nur aus Bequemlichkeit bedient.

12. Solange wir aber an diesen Ausdrücken festhalten, sind wir nicht im Stande uns ein vollständiges geistiges Bild von den wirklich stattfindenden Vorgängen zu machen. In der Optik kommen wir an einen Punkt, wo wir nicht mehr von Strahlen sprechen, sondern von Wellen, die das eigentliche Wesen der Erscheinung sind, obgleich wir noch wenig über ihre Beschaffenheit wissen.

So giebt es auch in der Elektrizität einen bestimmten Punkt, wo wir versuchen müssen, uns von den Kraftlinien und Potentialtheorien loszumachen und uns vorzustellen, dass der eigentliche Stoff verschiedenen Spannungen und Bewegungen unterliegt. Und damit gelangen wir wieder zu einer Ideenfolge, wie sie uns bei der Erklärung des Verhaltens einer incompressiblen Flüssigkeit nützlich gewesen.

Wir dürfen also, wenn auch in ganz anderem Sinne, noch immer von einem elektrischen Fluidum sprechen, sowie wir auch einige Gedanken der alten Theorie in

die neue hinübernehmen können. Zum Beispiel bleibt Franklin's Ansicht auch weiterhin bestehen, dass die positive Ladung eine Vermehrung und die negative Ladung eine Verminderung jener bestimmten Menge von Fluidum ist, die jeder neutrale Körper im normalen Zustande enthält. Ebenfalls trifft seine Ansicht noch zu, dass das Fluidum nirgends erzeugt wird, sondern dass ein Körper verlieren muss, was der andere gewinnt. Auch die Theorie, welche zwei Fluida annimmt, bleibt meiner Ansicht nach, wenn auch nur zum Theil, bestehen (§ 90); doch beabsichtige ich nicht, hier auf diesen Gegenstand näher einzugehen. Es genügt zunächst, wenn wir uns auf die Annahme eines einzelnen Fluidums beschränken.

Man denke sich also die Elektrisirmaschine als eine Pumpe, welche mit zwei Körpern in Verbindung steht und Electricität aus dem einen in den anderen pumpt, wobei der eine Körper eine positive, der andere eine negative Ladung erhält. Einer der beiden Körper kann die Erde sein; alsdann wird die Ladung ohne wahrnehmbare Wirkung bleiben.

13. Wenn aber, hat man eingewendet, die Electricität sich wie ein inkompressibles, unausdehnbares Fluidum verhält, wie ist es möglich, einen Theil davon einem Körper zu entziehen und dem anderen mitzutheilen? Bei starren Körpern ist dies nicht möglich; bei elastischen Körpern aber kann es geschehen.

Mithin ladet man eine Kugel ungefähr so, wie man Wasser in einen elastischen Beutel oder, richtiger gesagt, in einen Hohlraum pumpt, der sich inmitten eines elastischen Mediums befindet. (Die dicken Wände dieses Mittels, die sich nach allen Richtungen hin erstrecken und nur einem sehr starken Druck nachgeben, veranschaulichen den Vorgang besser als die dünnen Wände eines elastischen Beutels.)

Man denke sich nun zwei derartige Hohlräume und stelle sich vor, das Fluidum werde aus dem einen in den anderen gepumpt. Es wird alsdann ersichtlich werden, dass die Ladung (d. h. die Vermehrung oder Verminderung des Fluidums) sich auf der Aussenseite befindet.

Ist das Fluidum wirklich incompressibel, so wird der Druck auch nicht das geringste Extra-Quantum in den von dem Beutel ursprünglich eingenommenen Raum hineinpressen können. Dies ist der Sinn des Versuchs von Cavendish (§ 4): er beweist, dass die Elektrizität vollständig inkompressibel ist. (Siehe auch § 14 a.)

Ferner wird, wenn beide Höhlungen gleichartig geladen sind, das Mittel so stark gespannt werden, dass die Höhlungen von einander gedrängt werden; während sie, wenn die eine ausgedehnt und die andere zusammengezogen ist, sich zu nähern streben.

Endlich denke man sich zwei Höhlungen neben einander, pumpe das Fluidum in die eine hinein (oder

auch heraus) und beobachte die Wirkung auf die andere. Alsdann wird man die Erscheinung der Influenz wahrnehmen. Die nächstgelegene Wand der anderen Höhlung wird entgegengesetzt geladen werden (d. h. sie wird sich in den Hohlraum zurückziehen); die entferntere Wand wird gleichartig geladen werden (d. h. sie wird aus dem ursprünglichen Hohlraum hinausgedrängt); und der Druck auf das Fluidum in der Höhlung wird zunehmen oder abnehmen, je nachdem der Druck in der geladenen oder influenzirenden Höhlung zunimmt oder abnimmt. Mit anderen Worten, das Potential eines Leiters wächst, wenn er in die Nähe eines positiv geladenen Körpers kommt, und seine Ladung, sofern er eine enthält, bleibt zwar quantitativ dieselbe, erhält aber eine neue Vertheilung.

Unsere Analogie hat den Fehler, dass sie thatsächliche Volumenveränderungen der Höhlungen voraussetzt. Dem lässt sich nur abhelfen, indem man zu einer dualistischen Theorie der Elektrizität greift, d. h. zu einer Theorie, die zwei Fluida annimmt, eine Möglichkeit, auf die noch andere Thatsachen hinweisen. Es ist denkbar, dass die beiden Bestandtheile des Aethers an einander vorbeisicheren, sodass in der geladenen Höhlung der eine in dem Maasse zunimmt, wie der andere abnimmt; dadurch würde eine Spannung entstehen, die weder ein Ausdehnen, noch ein Zusammenziehen des Volumens erforderte und welche die Gesamtmenge des Aethers überall unverändert liesse. (Vergl. § 18.)

14. *Rückleitung*. — Es ist nicht immer leicht, sich vorzustellen, dass die Elektrizität in einem geschlossenen Kreise fliesst, so z. B. wenn wir nach Amerika telegraphiren und die Erde als Rückleitung benutzen, fragen wir uns: Wie findet die Elektrizität den richtigen Weg zurück?

In Wirklichkeit ist die Schwierigkeit nicht grösser, als wenn wir uns eine Röhre denken, die nach Amerika reicht, an beiden Enden mit dem Meer in Verbindung steht und ganz mit Wasser angefüllt ist. Pumpt man nun an dem einem Ende etwas mehr Wasser in die Röhre, so wird am anderen Ende die gleiche Menge Wasser herausfliessen und das gestörte Niveau des Oceans wird sich wieder herstellen. Dasselbe Wasser kehrt nicht zurück, sondern nur eine gleiche Menge von Wasser. Dasselbe behaupten wir von der Elektrizität. Freilich kann man sie nicht mit einem Zeichen versehen und daran wiedererkennen.

Will man sich zugleich die Selbstinduktion eines Kabels veranschaulichen, so muss man sich die Röhre mit mässig elastischen Wänden versehen denken; um ausserdem dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu erzielen wie bei einem elektrischen Signal, müsste man sich das Wasser als vollständig inkompressibel vorstellen, nicht als elastisch, wie es in Wirklichkeit ist; sonst würde jeder Stromstoss sogar in einer vollständig starren Röhre drei- viertel Stunden unterwegs sein.

14 a. *Inkompressibilität der Elektrizität*. — Die Aequi-

valenz der verschiedenen Sätze zu Anfang des § 4 scheint nicht ganz klar zum Ausdruck gelangt zu sein. Es ist aber wohl der Mühe werth, auf diesen wichtigen Punkt ausführlicher zurückzukommen. Eine der ersten experimentellen Erfahrungen in der Elektrizität ist die, dass man eine isolirte Kammer nicht laden kann, indem man darin elektrische Versuche vornimmt. Die Elektrisirmaschine im Innern einer leitenden Kammer und das Elektroskop ausserhalb derselben sind vollständig unabhängig von einander. Mit anderen Worten: das Kraftfeld ausserhalb eines Leiters ist unabhängig von dem Kraftfeld innerhalb desselben; es findet durch den Leiter eine vollständige Unterbrechung sämtlicher Kraftlinien statt; ein geschlossener Leiter wirkt wie ein vollkommener elektrostatischer Schirm. Eine zweite grundlegende Erfahrung lehrt, dass, wenn man eine Ladung auf irgend eine Weise dem Innern eines hohlen Leiters mittheilt, genau die gleiche Menge sofort auf seiner äusseren Oberfläche erscheint. Entfernt man diese Oberfläche, so entfernt man zugleich die Ladung und keine Spur bleibt unterhalb derselben zurück.

Diese beiden Thatsachen führen zu der Behauptung, dass die Elektrizität sich wie ein inkompressibles Fluidum verhält, mit dem der ganze Raum erfüllt ist; ein Fluidum, das nicht erzeugt, sondern nur umherbewegt werden kann. Man denke sich nämlich im Meer ein geschlossenes Gefäss, in dem sich Pumpen befinden. Sind die Wände vollständig dicht, so wird das angestrengteste

Pumpen nicht einen Tropfen Flüssigkeit mehr in das Gefäss hineinbringen, als es vorher enthielt. Das Gefäss kann auf diesem Wege nicht geladen werden. Nun denke man sich aber, dass von aussen durch eine Oeffnung Wasser hineingepumpt werden solle; wie wäre das möglich? Da nach unserer Annahme das Gefäss schon vorher voll war, müsste entweder das Wasser kompressibel sein: in diesem Fall würde die überschüssige Ladung sich gleichmässig durch den eingeschlossenen Raum vertheilen; oder das Gefäss müsste ausdehnbar oder porös sein: dann würde die überschüssige Ladung sich überhaupt nicht innerhalb der Grenzen des ursprünglichen Raumes, sondern ausserhalb desselben befinden. Diejenige überschüssige Menge, die man hineingepumpt hätte, würde sofort auf der Aussenseite erscheinen. Dies ist der Vorgang, den wir bei der Elektrizität beobachten. (§ 4.)

Um festzustellen, ob das Wasser wirklich inkompressibel ist, liesse sich folgender Versuch anstellen: In ein Metallgefäss, das mit einem Manometer versehen ist, bringt man einen starken elastischen Beutel und bläst ihn auf, indem man Wasser hineinpumpt. Je stärker der Beutel anschwillt, um so höher steigt der Druck in dem äusseren Gefäss, falls er nicht beständig abgeleitet wird (durch „Erdschluss“). Hat man genug gepumpt, so verschliesst man alle Ritzen, die das Gefäss zufällig haben könnte, liest den Stand des Manometers

genau ab und sticht dann ein Loch in den Beutel. Das Wasser im Beutel wird dadurch plötzlich vom Druck befreit. Ist es nun im Mindesten elastisch, so wird es den Druck in dem äusseren, starren Gefäss erhöhen und das Manometer wird steigen. Ist es aber inkompressibel, so wird das Manometer nichts anzeigen. Dieser Versuch entspricht genau dem Faraday'schen Versuch mit dem Eiseimer und sein Ergebniss lehrt, dass die Elektrizität vollständig inkompressibel ist. Der Versuch von Cavendish, bei dem die äussere Hülle eines geladenen Leiters entfernt wird und der Kern sich als völlig ungeladen erweist, ist eine noch schlagendere, aber minder einfache Methode, dasselbe zu beweisen. Wenn durch einen dieser beiden Versuche ein wirkliches, positives Resultat zu erhalten wäre, so hätten wir damit einen Massstab für die Kompressibilität oder Volumene弹icität des Aethers gewonnen. Es würde beweisen, dass longitudinale Stösse (wie diejenigen der Gravitation möglicherweise sind) nicht sofort überall im Raum auftreten, sondern sich mit einer gewissen zeitlichen Geschwindigkeit fortpflanzen.

Es leuchtet ein, dass die oben besprochenen That-sachen rein technische Ausdrucksweise zur Folge haben, wie z. B. dass die „inducirte Ladung“ stets gleich und entgegengesetzt der „inducirenden Ladung“ ist. Denn „inducirte Ladung“ bedeutet einfach den Zustand der inneren Oberfläche eines Gefässes, in welches eine inducirende Ladung eingeführt worden ist. Weil

hierdurch eine gleiche Menge Elektrizität hinausgedrängt wird, so muss die innere Fläche der Wand eine genau entsprechende Menge negativer Elektrizität aufweisen.

Wie wir gesehen haben, ist es in den meisten Fällen für uns verständlich, dass die Elektrizität in einem geschlossenen Kreise fließt. Nehmen wir aber einen Fall, wo dies weniger klar ist. Wenn man z. B. eine elektrische Ladung von Ort zu Ort bewegt, indem man sie von aussen in ein Zimmer einführt, so wird sie nicht in dem Zimmer angehäuft und der Aussenwelt entzogen werden; sondern genau dieselbe Menge erscheint sofort ausserhalb des Zimmers. Die Elektrizität wird dadurch nicht an einer Stelle des Raumes verdünnt und an einer anderen verdichtet, sondern sie bewegt sich auch in diesem Fall in einem geschlossenen Kreise und verhält sich genau so wie ein inkompressibles Fluidum, das den ganzen Raum erfüllt.

Hieraus ergibt sich klar die Aequivalenz der Behauptungen, die wir zu Anfang des § 4 aufgestellt haben.

KAPITEL III

LADUNG UND INDUKTION

15. *Kondensatoren.* — Wenden wir uns nun wieder der elektrischen Ladung von Körpern zu und fragen uns: Aus welchem Grunde erhöht eine zur Erde abgeleitete Platte, die man in die Nähe eines Leiters bringt, die Kapazität des Letzteren so bedeutend, dass der gleiche Druck eine weit grössere Menge von Fluidum in ihn hineinzupressen vermag? Wie haben wir uns einen Kondensator oder eine Leydener Flasche vorzustellen?

Auf die einfachste Weise: Wenn wir einem Körper einen mit der Erde verbundenen Leiter nahe bringen, so machen wir *das Dielektricum dünner.*

Für ein dünnwandiges, elastisches Mittel ist selbstverständlich, um es bis zu einem gewissen Grade auszudehnen, weniger Kraft erforderlich, als für eine dicke Wand aus demselben Stoff; mit anderen Worten, ein Hohlraum mit dünnen Wänden besitzt eine grössere Kapazität, als wenn er von dicken Wänden umschlossen

wäre. Die Kapazität eines elastischen Hohlraums kann aber nicht gemessen werden wie die Kapazität eines Eimers, indem man das Maximum der Flüssigkeitsmenge feststellt, die er fasst, wenn er voll ist. Er ist überhaupt erst „voll“, wenn er platzt; und die Menge, die ihn zum Platzen bringt, giebt eher einen Massstab für seine Widerstandskraft, als für seine Kapazität. Die einzig rationelle Art, um in diesem Fall die Kapazität eines elastischen Hohlraums zu messen, besteht darin, das Verhältniss festzustellen zwischen jeder Vermehrung seines Inhalts und der Druckerhöhung, die erforderlich ist, um ihn hineinzupressen. Auf diese Art wird denn auch die elektrische „Kapazität“ definirt. Eine Leydener Flasche ist wie ein Hohlraum mit sehr dünnen Wänden oder wie ein elastischer Beutel.

Wenn aber die elastische Membran allzu dünn ist oder allzu straff gespannt wird, so zerreisst sie. Diesem Vorgang entspricht das von einem Funken begleitete Durchschlagen bei der Leydener Flasche. Manchmal wird dabei das feste Dielektricum dauernd zerstört. Gewöhnlich zerreisst nur die Luft; da diese aber kein fester Körper ist, so stellt sich die Scheidewand selbstthätig wieder her.

An der Leydener Flasche giebt es viele interessante und wichtige Erscheinungen zu beobachten. Sie lässt sich nicht laden, wenn sie isolirt ist. Denn das Potential der äusseren und inneren Belegung wächst gleich-

mässig; um sie zu laden, muss man jedesmal der äusseren Belegung einen positiven Funken entziehen, wenn man der inneren einen positiven Funken mittheilt; ferner haben wir das Laden und Entladen durch abwechselnde Berührung, wie durch ein hin und her schwingendes Kügelchen, und schliesslich die Erscheinungen der Funkenentladung selbst zu erwähnen.

Im Grunde ist aber, wie wir wissen, *jeder* geladene Körper eine Leydener Flasche; irgendwo muss die äussere Belegung vorhanden sein, sei es nun die Zimmerwand, die Erde oder sonst etwas; und immer besteht eine dielektrische Schicht zwischen der sogenannten inducirten und der inducirenden Ladung. Ein einzelner Körper kann nicht geladen werden. (§ 5.)

16. Um den Vorgang des Ladens zu erläutern, mache ich auf folgende Abbildungen aufmerksam, die das Wesen der Erscheinung zwar weniger vollständig, aber auf einfachere Art darstellen, als hydraulische Modelle.

Wir haben zunächst ein nicht dehnbares endloses Seil, das über Rollen läuft; dieses Seil soll die in einem geschlossenen Kreise fließende Elektrizität darstellen. Die Kräfte, die das Seil bewegen, sind elektromotorische Kräfte und man hat sich zu denken, dass sie entweder mittelst einer Winde oder mittelst eines Gewichts beim Haken *W* angreifen. Ein kleines Gewicht würde einem galvanischen Elemente, eine langsame aber

starke Winde würde einer Dynamomaschine entsprechen. Klemmt man das Seil mit der Schraube S fest, so schaltet man einen unendlichen Widerstand ein. Man könnte sich auch statt des Seils, der Klemme und der Winde eine mit Flüssigkeit angefüllte Röhre ohne Ende denken, an der ein Schliesshahn und eine Pumpe angebracht wären;

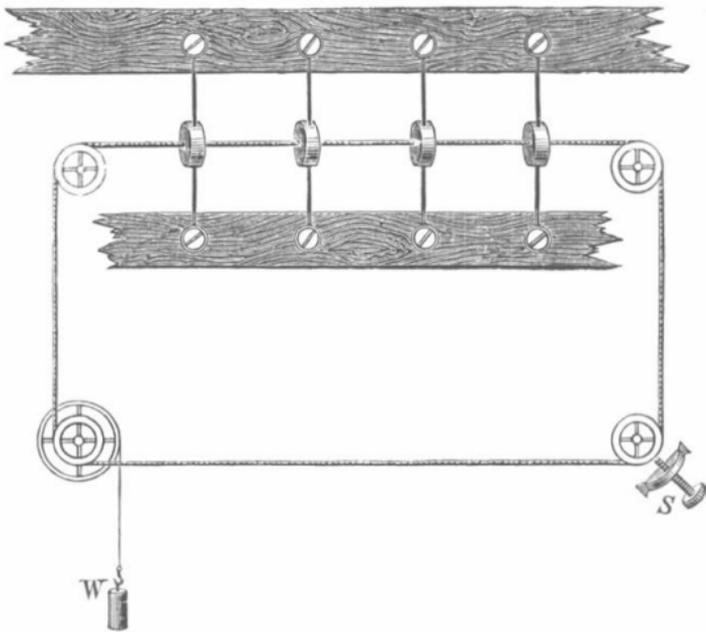


Fig. 5. — Mechanische Analogie eines *metallischen* Stromkreises.

das Seil genügt jedoch für die Mehrzahl der Zwecke und ist viel einfacher. In Fig. 5 bildet Reibung den einzigen Widerstand gegen die Bewegung; das Seil zeigt keine Neigung zurückzuzschnellen. Auf dem Seil sitzen kleine oben und unten befestigte Kügelchen, die Atome darstellen sollen; je nachdem sie sich

mehr oder weniger reiben, veranschaulichen sie deren verschiedene spezifische Widerstände. Wird das Seil bewegt, so ist Wärme das einzige Ergebniss.

Wenden wir uns nun zu Fig. 6. Die Anordnung ist dieselbe; die Kugelchen sollen aber jetzt so fest an dem Seil haften, dass sie diesem bei seiner Bewegung folgen

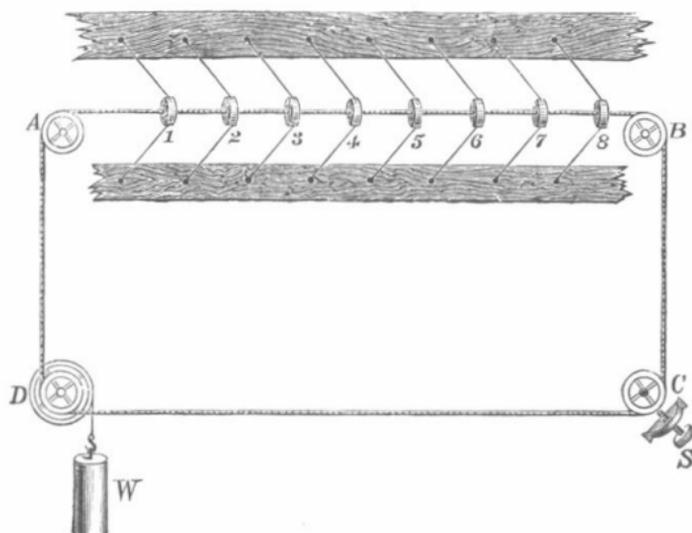


Fig. 6. — Mechanische Analogie eines Stromkreises, in den ein *Dielektricum* eingeschaltet ist, z. B. eines geladenen Kondensators. *A* ist seine positive Belegung, *B* seine negative,

müssen. Sie stellen also Theilchen einer isolirenden Substanz dar. Ihre eigene Befestigung ist jedoch nicht stark genug, um die Bewegung des Seils vollständig zu hindern, sondern sie gestattet noch dasjenige, was Faraday elektrische „*Verrückung*“¹⁾ nennt; nicht zu verwechseln mit Leitung. Das heisst, die Kugelchen

¹⁾ Polarisation des Dielektricum.

lassen sich aus ihrer normalen Lage verrücken, schnellen aber zurück, sobald die störende elektromotorische Kraft aufhört. Die Befestigung der Kügelchen denke man sich hier als aus Gummibändern bestehend. Nimmt man an Stelle des Seils eine geschlossene, mit Wasser gefüllte Röhre an, so werden die Kügelchen und die Gummibänder durch elastische Scheidewände zu ersetzen sein. Die Dehnbarkeit der Gummibänder veranschaulicht die spezifische Kapazität des Dielektricum. Je weniger die Bänder nachgeben, desto geringer ist die Kapazität des Mittels; denn offenbar gehört eine grössere elektromotorische Kraft dazu, um eine gegebene Verrückung zu bewirken.

Lässt man eine gegebene elektromotorische Kraft, wie z. B. das Gewicht W , auf das Seil wirken, so findet eine bestimmte Verrückung statt. Die eine Seite A erhält ein längeres Stück Seil als zuvor: d. h. eine positive Ladung; die andere Seite B dagegen verliert ein Stück des Seils: d. h. sie erhält eine negative Ladung. Uebersteigt die elektromotorische Kraft eine gewisse Grenze, so wird die Spannung zu gross. Die Gummibänder zerreißen und dies entspricht einer gewaltsamen Funken-Entladung. Aber es kann auch bei geringerer Spannung vorkommen, dass einige der Gummibänder sich recken und ihre Elasticität einbüßen, sodass bei einigen Kügelchen noch eine allmähliche besondere Verrückung eintritt.

Findet jetzt eine Entladung statt, so wird sie

nicht sofort und ganz eintreten, sondern es wird zwar ein grosser Theil der Verrückung sofort aufgehoben werden, der Rest aber wird sich erst allmählich verlieren und die Entladungen des sogenannten Rückstandes verursachen.

Wenn das Dielektricum aus Schichten von verschiedener Widerstandskraft besteht, d. h. wenn einige Kügelchen das Seil weniger festhalten als andere, so zeigt sich die Erscheinung der Rückstandsbildung besonders deutlich.¹⁾

17. Alle diese Vorgänge sind leicht verständlich und die verschiedenen Stadien werden durch Fig. 7 hinreichend erläutert. Diagramm I zeigt 8 Schichten, die um einen gegebenen Betrag von 3 (willkürlich gewählten) Einheiten aus ihrer normalen Lage verschoben sind. Da die Gegenkraft proportional der Verrückung ist, so beträgt die gesammte Gegenkraft 24. Das Diagramm stellt also eine Leydener Flasche oder ein anderes Dielektricum dar, das sich unter einer Spannung von 24 Einheiten befindet. Nimmt man an, dass jede Schicht vollkommen isolirt, das heisst, dass jedes Kügelchen an dem Seil festhaftet, so tritt keine Veränderung ein, solange diese Spannung andauert. Man kann diesen Zustand auf zwei Arten dauernd erhalten: entweder man lässt das Gewicht W hängen, d. h. man verbindet den Kondensator dauernd

¹⁾ Ueber die ursprünglichen Einzelheiten dieser Seilmodelle als Erläuterung zu Maxwell's Theorie von der elektrostatischen Induktion etc. siehe Lodge, Phil. Mag. Nov. 1876.

mit der Batterie; oder man erzeugt durch Einklemmen des Seils einen unendlichen Widerstand: d. h. man isolirt die Pole des Kondensators von einander.

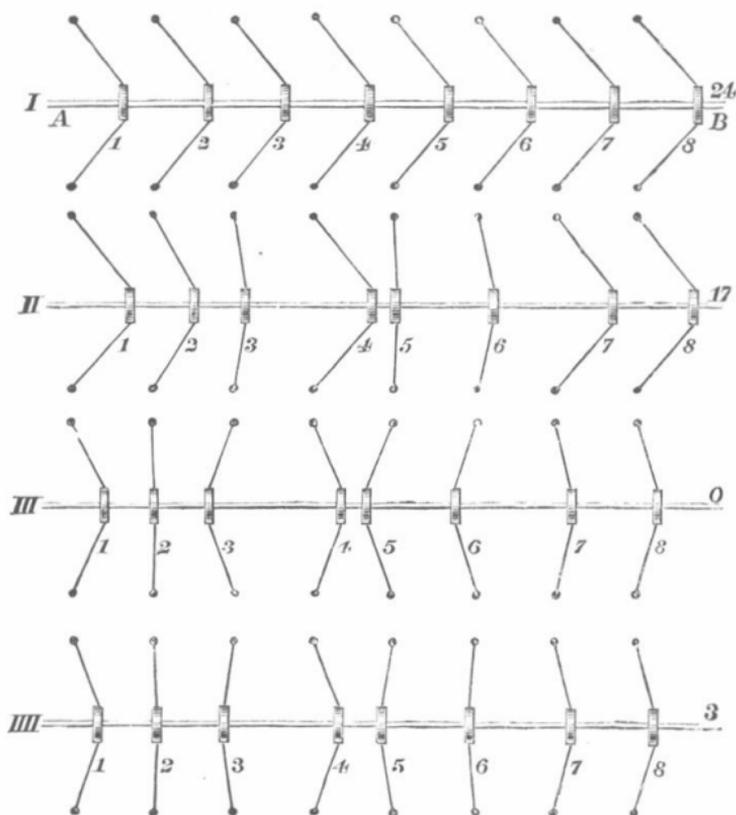


Fig. 7. — Verschiedene Stadien während der Entladung eines geschichteten Kondensators, dessen Schichten zum Theil unvollständig isoliren. Entstehungsweise des Rückstandes und der „inneren Ladungen“.

- I. zeigt die soeben durch eine elektromotorische Kraft 24 mitgetheilte Ladung.
- II. zeigt dieselbe Ladung nach Ablauf einer gewissen Zeit. Sie ist durch partielle innere Verluste auf 17 zurückgegangen und es ist eine innere Ladung entstanden. Der Stromkreis selbst wurde die ganze Zeit hindurch als vollständig isolirend gedacht; die Ladung der Belegungen ist daher konstant geblieben.
- III. zeigt die erste Entladung.
- IV. zeigt den Zustand nach Ablauf einiger Zeit, nämlich einen Rückstand mit der elektromotorischen Kraft 3 in der ursprünglichen Richtung.

Nun aber denke man sich, dass einige Schichten nicht vollkommen isoliren, und dass einige Kügelchen allmählich wieder in ihre Ruhelage zurückgleiten. Alsdann werden verschiedene Erscheinungen eintreten, je nachdem man das Gewicht hängen lässt oder das Seil ein-klemmt.

Setzen wir den ersten Fall, bei dem eine dauernde Verbindung mit der Batterie erhalten wird. Angenommen, dass alle Kügelchen gleichmässig zurückgleiten, so erhalten wir einfach eine Fortdauer des Zustandes auf Diagramm I, verbunden mit einem allmählichen Vorwärtsrutschen des Seils, d. h. einem langsamen, aber anhaltenden Stromverlust. Angenommen aber, dass nicht alle Kügelchen gleichmässig zurückgleiten, sondern dass einige haften bleiben, alsdann wird durch das Zurückgleiten einiger Kügelchen die Spannung der übrigen erhöht und das Seil bewegt sich immer langsamer vorwärts, bis schliesslich die isolirenden Schichten die gesammte Spannung zu tragen haben und das Seil sich asymptotisch einer Ruhelage nähert.

Diesen Vorgang beobachtet man bei transatlantischen Kabeln und bei Leydener Flaschen; alle Kondensatoren, mit Ausnahme von Luftkondensatoren, sind ihm unterworfen, und er ist von der Bildung innerer Ladungen begleitet, da, wie ersichtlich, der ursprüngliche normale Abstand zwischen den Kügelchen sich verändert; bei einigen ist er grösser geworden, was einer positiven

Ladung, bei anderen kleiner, was einer negativen Ladung entsprechend ist.

Die Spannung ist sehr ungleich vertheilt, aber ihr Gesamtbetrag bleibt konstant.

Entfernt man nun die elektromotorische Kraft ohne den Stromkreis zu unterbrechen, d. h. schliesst man den Kondensator kurz, so erfolgt zuerst eine rasche Entladung und dann ein langsamer Ausgleich, d. h. eine umgekehrte Bewegung des Seils, das von den noch etwas verschoben gebliebenen, isolirenden Schichten durch die nunmehr im entgegengesetzten Sinne verschobenen, schlecht leitenden Schichten hindurchbewegt wird; die Zeit, die der Rückstand braucht, um zu verschwinden, entspricht der Zeit, die er braucht, um zu entstehen.

Es ist wichtig, sich klar zu machen, dass diese Erscheinungen vollständig vereinbar sind mit der Inkompressibilität der Elektrizität, d. h. mit der Unausdehnbarkeit des Seils. Die gewöhnliche Vorstellung, nach der die positive und negative Ladung einer Leydener Flasche im Glase einander entgegenkriechen und wieder herauskriechen, ist absolut falsch, und der wahre Vorgang, der ganz dieselbe Wirkung hervorbringt wie dieser scheinbare, ist vollkommen klar.

Bisher gingen wir davon aus, dass der Kondensator in dauernder Verbindung mit der Batterie blieb. Setzen wir nun den Fall, dass die Pole des Kondensators von einander isolirt werden. Hat man das Dielektricum in den auf Diagramm I dargestellten Zustand versetzt, so

klemme man das Seil fest und warte. Wenn einige Kügelchen zurückgleiten, während andere haften, so wird sehr bald der auf Diagramm II dargestellte Zustand eintreten. Hier sind die Kügelchen Nr. 3, 5 und 6 theilweise zurückgerutscht und die Gesamtspannung des Seils ist auf 17 zurückgegangen. Die Flasche hat sich durch innere Verluste zum Theil entladen, ohne dass sich das Seil im Mindesten bewegt hätte. Es sind innere Ladungen entstanden und zwar positive zwischen 3 und 4 und zwischen 5 und 6, negative zwischen 2 und 3 und zwischen 4 und 5. Die Ladungen auf den Belegungen *A* und *B* sind konstant geblieben; die Flasche hat offenbar an Kapazität zugenommen, da dieselbe Ladung durch eine geringere elektromotorische Kraft aufrecht erhalten wird. Diese Wirkungen scheinen sämtlich auf den ersten Blick unvereinbar mit dem Verhalten eines inkompressibelen Fluidums; unser Diagramm aber beweist deutlich das Gegentheil.

Nun löse man vorübergehend die Klemme, die das Seil festhält; d. h. man entlade den Kondensator und isolire von Neuem. Im Augenblick der Entladung findet ein Erguss von Elektrizität statt und die Kraft fällt auf Null. Diagramm III zeigt den Zustand der entladenen Flasche unmittelbar nach der Entladung. Die äusseren Ladungen sind noch nicht ganz verschwunden, die inneren Ladungen wurden nicht beeinflusst; keine einzige Schicht befindet sich in der Ruhelage. Die isolirenden Schichten bewahren noch etwas von ihrer ursprünglichen Ver-

rückung und die durchlässigsten sind im umgekehrten Sinne verschoben, sodass die resultirende Kraft grade Null beträgt. Die durchlässigste Schicht Nr. 5 ist am stärksten im umgekehrten Sinne verschoben. Dieser Zustand währt aber nicht lange. Die Schichten fangen gleich wieder an zurückzurutschen und gelangen binnen Kurzem in den Zustand, den man auf Diagramm IV sieht, wo die nunmehr fast völlig frei gewordene Spannung der isolirenden Schichten auf das Seil eine Kraft 3 in der ursprünglichen Richtung ausübt. Diese Kraft nennt man den elektrischen Rückstand, und wenn man das Seil losklemmt, erhält man die erste Rückstands-Entladung. Noch immer aber ist die Flasche nicht ganz entladen. Nach einiger Zeit erscheint ein zweiter, schwächerer Rückstand und so fort, fast in's Unbegrenzte, bis die Summe aller Rückstands-Entladungen sammt der ursprünglichen ersten Entladung genau der anfangs der Flasche mitgetheilten Ladung entspricht — sofern nämlich überhaupt irgend eine Schicht undurchlässig war. Wenn alle mehr oder weniger durchlässig waren, so wird selbstverständlich ein Verlust eintreten.

18. Bei der Betrachtung dieser mechanischen Analogie muss man sich aber vor der Vorstellung hüten, dass die elektrische Verrückung von irgend einer mechanischen Verrückung der Stofftheilchen begleitet werde. Augenscheinlich kann ein Modell mit unbeweglichen, zur Befestigung der Kügelchen dienenden

Leisten nicht sehr genau den elektrischen Erscheinungen entsprechen. Wollte man den Vorgang genauer nachbilden, so müsste man sich mehrere Reihen von Kügelchen denken. Jede Reihe für sich müsste auf ein Seil aufgezogen und mit quergespannten Gummibändern befestigt sein wie auf Fig. 7 a.

Würden nun diese Seile gleichzeitig und abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen verschoben und dächte man sich, dass die Seile abwechselnd positive und negative Elektrizität, die Kügelchen elektropositive

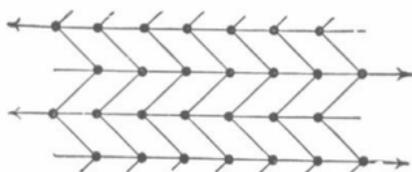


Fig. 7 a. — Siehe auch Fig. 46.

und elektronegative Stofftheilchen darstellten, so würde vielleicht eine genauere Analogie des wirklichen Vorgangs zu Stande kommen. Es fände keine Verrückung der ganzen Molekel statt, wohl aber eine Verrückung ihrer atomistischen Bestandtheile und es würde eine scherende Spannung auf jede Molekel ausgeübt, die, wenn sie stark genug wäre, eine elektrolytische Zersetzung herbeiführen könnte. Ich betrachte jedenfalls jede von einem Durchschlagen begleitete Entladung als eine Art von Elektrolyse. (§§ 112 u. 65 a; siehe auch § 13.)

19. Kehren wir aber zurück zur einfachen Entladung und betrachten wir diesen Vorgang näher. Ist der Widerstand des Stromkreises sehr stark, so werden die Kügelchen einfach in ihre Ruhelage zurückgleiten. Ist aber das Seil ziemlich frei, so werden sie über ihr Ziel hinausschiessen, wieder zurückprallen und sich erst nach einer Reihe von raschen Schwingungen in ihre natürliche Lage begeben. Diesem Vorgang entspricht die Thatsache, dass sich die Entladung der Leydener Flasche meist unter Oscillationen vollzieht. Der scheinbar einheitliche, momentane Funken löst sich bei genauerer Untersuchung mittelst eines sehr rasch rotirenden Spiegels in eine Reihe schnell auf einander folgender Blitze auf, die zusammen ungefähr $\frac{1}{100\,000}$ Sekunde dauern. Diese oscillirenden Ströme wurden vorausgesagt und berechnet von Sir W. Thomson; sie wurden zuerst von Feddersen durch den Versuch nachgewiesen. Diese Schwingungen dauern fort, bis die gesammte in dem gespannten Mittel aufgespeicherte Energie sich in Wärme umgesetzt hat. Das Vorhandensein dieser Schwingungen beweist deutlich, dass Elektrizität in Verbindung mit Materie Beharrungsvermögen besitzt. Die Geschwindigkeit dieser Schwingungen ist ganz ausserordentlich gross; sie schwankt zwischen 10 Tausend und 100 Millionen Schwingungen in der Sekunde, je nach der Kapazität und der Selbstinduktion des Stromkreises.

Die Geschwindigkeit der Schwingungen und die

Schnelligkeit ihres Erlöschens, ferner die Umstände, welche eine oscillirende Entladung in eine nur nach einer Richtung sich vollziehende verwandeln können, entsprechen genau den Erscheinungen bei einer zusammengedrückten Sprungfeder, welche plötzlich zurück-schnellt. Befindet sich die Feder in einem sehr zähen Mittel oder besitzt sie nur wenig Beharrungsvermögen, so wird sie nicht schwingen, sondern einfach in ihre Ruhelage zurückkehren. Unter gewöhnlichen

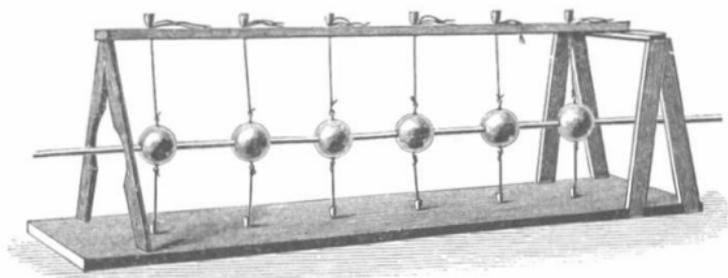


Fig. 8. — Modell eines Dielektricum.

Umständen aber wird sie eine Reihe von Schwingungen ausführen, bis sich ihre gesammte Energie in Wärme umgesetzt hat. (§§ 123 u. ff.)

Fig. 8 zeigt das Modell eines Dielektricum.

20. Soll eine *Ladung durch Influenz* veranschaulicht werden, so braucht man nur einen Leiter in das polarisirte Dielektricum einzuführen, oder, mit anderen Worten, einige der Kügelchen mit starren Fäden zu versehen und durchlässig (leitend) zu machen, während die übrigen Kügelchen elastische Bänder haben und haftend (isoli-

rend) sind. Findet dann eine Verrückung statt, so wird offenbar auf der einen Seite der Metallschicht das Seil verkürzt, auf der anderen Seite verlängert werden, wie bei Fig. 9. Dieser Vorgang entspricht genau den gleichen entgegengesetzten inducirten Ladungen bei einem der Influenz unterworfenen Leiter. (Siehe Fig. 3.)

Wird die Spannung auf der einen Seite aufgehoben, indem man die Kügelchen zurückgleiten lässt, so entspricht dies einer vorübergehenden Ableitung

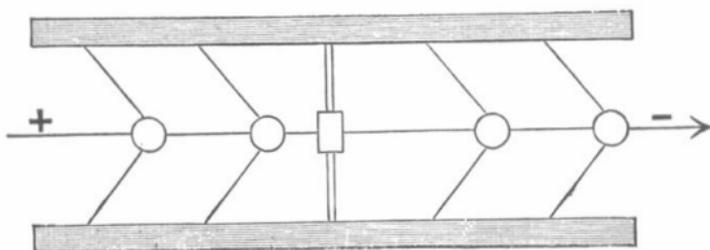


Fig. 9. — Metallschicht, in ein polarisiertes Dielektricum eingeführt, mit entgegengesetzten inducirten Ladungen auf beiden Oberflächen. (Vergl. Fig. 3.)

des Leiters zur Erde, wie auf Fig. 4. Die andere Seite hat nun die gesammte elektromotorische Kraft auszuhalten; Spannung und Ladung werden sich deshalb auf dieser Seite vermehren. Wird nun die wirksame elektromotorische Kraft entfernt, so erscheint die negative Ladung entweder in gleicher Stärke auf beiden Seiten der Metallschicht, oder stärker auf der Seite, welche die wenigsten Kügelchen aufweist, d. h. welche anderen Leitern am nächsten ist.

21. Da es erwünscht ist, diese Dinge gründlich zu

verstehen, so lassen wir auf Fig. 9a eine Reihe von Abbildungen der verschiedenen Stadien dieses Vorganges folgen.

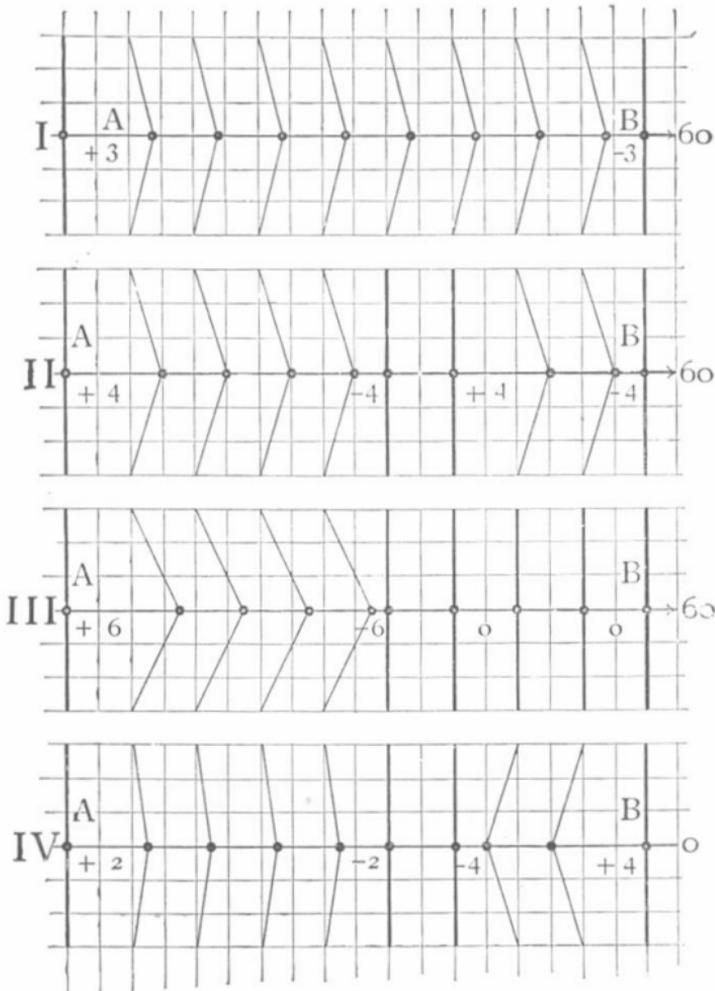


Fig. 9a. — Verschiedene Stadien beim Laden eines Metalls durch Influenz und Berührung. Die Ziffern hinter + und - bedeuten die Ladungen; die Ziffern bei den Pfeilspitzen bedeuten die elektromotorische Kraft. Bei dieser Serie ist die elektromotorische Kraft als konstant gedacht. Will man den anderen Fall darstellen, bei dem die Ladung auf Platte A konstant erhalten wird, so muss man das Seil festlegen; dann wird aber die darauf einwirkende Kraft abnehmen und zwar von 60 (I) auf 45 (II) bis zu 30 (III).

Diagramm I zeigt ein gewöhnliches polarisiertes Dielektricum, z. B. Luft, zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Körpern A und B , deren Potentialdifferenz konstant erhalten wird. Der Einfachheit wegen denken wir uns das Feld gleichmässig, d. h. mit geraden, parallel verlaufenden Kraftlinien, sodass A als eine grosse positiv geladene Platte, B als eine ihr gegenüberstehende Erdplatte gelten können. Den Unterschied des Potentials zwischen A und B wollen wir 60 nennen. Er ist vertheilt unter 8 Schichten oder Dickeneinheiten, von denen mithin jede die Spannung $7\frac{1}{2}$ erleidet und $\frac{3}{4}$ von der Breite eines Quadrats aus der Ruhelage verschoben wird. Die Ladungen auf A und B betragen ± 3 .

Eine isolirte, zwei Einheiten starke Metallscheibe wird nun eingeführt und tritt an die Stelle von zwei dielektrischen Schichten. (Siehe Diagramm II.) Daher erhält jede der übrigen 6 Schichten eine stärkere Spannung 10, und jede Schicht wird nunmehr um ein ganzes Quadrat verschoben. Die Ladung der Platten A und B steigt auf ± 4 und die Wirkung ist dieselbe, als ob die Dicke des Dielektricum im Verhältniss von 8 zu 6 vermindert worden wäre. Die Oberflächen der eingeführten Metallscheibe sind ebenfalls geladen und zwar beträgt die Ladung auf der A gegenüberliegenden Seite $- 4$, auf der B gegenüberliegenden Seite $+ 4$.

Auf Diagramm III wurde die Metallscheibe vorübergehend zur Erde abgeleitet. Dadurch ist die Spannung der Seite B vollständig aufgehoben; denn an Stelle des Di-

elektriscums ist Metall getreten, das dem Seil freien Durchgang gestattet. Das Seil schnell vorwärts und die gesammte Spannung vertheilt sich auf 4 Schichten, die nun jede 15 Spannungseinheiten aushalten müssen und um $1\frac{1}{2}$ Quadrate aus ihrer Ruhelage verschoben sind. Stellt man das Dielektricum wieder her (d. h. hebt man die vorübergehende Verbindung mit der Erde wieder auf), so tritt keine weitere Veränderung ein. Die Ladung auf der einen Seite der Metallscheibe beträgt jetzt — 6, die auf der anderen Seite Null.

Zum Schluss entferne man die konstante elektromotorische Kraft, welche die ganze Zeit eingewirkt hat. Alsdann schnellt das Seil zurück, die resultirende Kraft wird Null. Die 2 Schichten auf der rechten Seite müssen den 4 Schichten auf der linken Seite das Gleichgewicht halten, erstere sind daher um ein ganzes, letztere um ein halbes Quadrat verschoben. Die Scheibe ist auf beiden Oberflächen negativ geladen, rechts — 4, links — 2. Die Ladungen auf A und B betragen $+2$ und $+4$, obgleich ihr Potential gleich ist. Dieser Zustand ist abgebildet auf Diagramm IV; dabei war also die Metallscheibe durch Influenz negativ geladen. Die Ladung *könnte* auch auf beiden Seiten gleich gross sein; dies ist aber nicht nothwendig, sondern hängt ab von der relativen Nähe benachbarter Gegenstände wie A und B .

Wenn A , statt bei konstantem Potential erhalten zu werden, eine konstante Ladung erhielte, so würden die Vorgänge sich begreiflicher Weise etwas anders gestalten.

Die resultierende Spannung am Seil würde abnehmen, sowohl wenn man die Metallscheibe einführt, als auch wenn man sie zur Erde ableitet; alsdann aber wären die Erscheinungen genau diejenigen des Elektrophors, Erscheinungen, die sich beständig in allen Influenzmaschinen abspielen. Es verlohnt daher der Mühe, auf die Vorgänge am Elektrophor näher einzugehen; man wird sich alsdann ein deutliches Bild davon machen können, was in jedem gegebenen Falle vorgeht.

Der Elektrophor.

22. Diagramm I, Fig. 9b, zeigt den negativ elektrisirten Kuchen auf seiner Unterlage ruhend. Die negative Ladung auf der Oberfläche des Kuchens beträgt 13 Einheiten; davon sind 12 durch die Unterlage „gebunden“, wie man sich ausdrückt; eine ist frei. Mit anderen Worten, die Spannung von 12 Ladungseinheiten entfällt auf die Schichten des Kuchens, der kleine Rest auf die Atmosphäre darüber. Die Spannung in der Luft ist gering, weil diese viel dicker ist, als der Kuchen und so viele Schichten hat, dass eine sehr geringe Verrückung jeder Schicht genügt, um dem Zug auf das Seil das Gleichgewicht zu halten. Eine durch den elektrisirten Kuchen inducirte Ladungseinheit befindet sich an der Zimmerwand oder Decke. Nun setzt man den Metaldeckel isolirt auf den Elektrophor. Ist der Deckel

von messbarer Dicke, so verschiebt er einige der gespannten Schichten und die Spannung der Uebrigen wird dadurch um ein Geringes erhöht; diese Wirkung

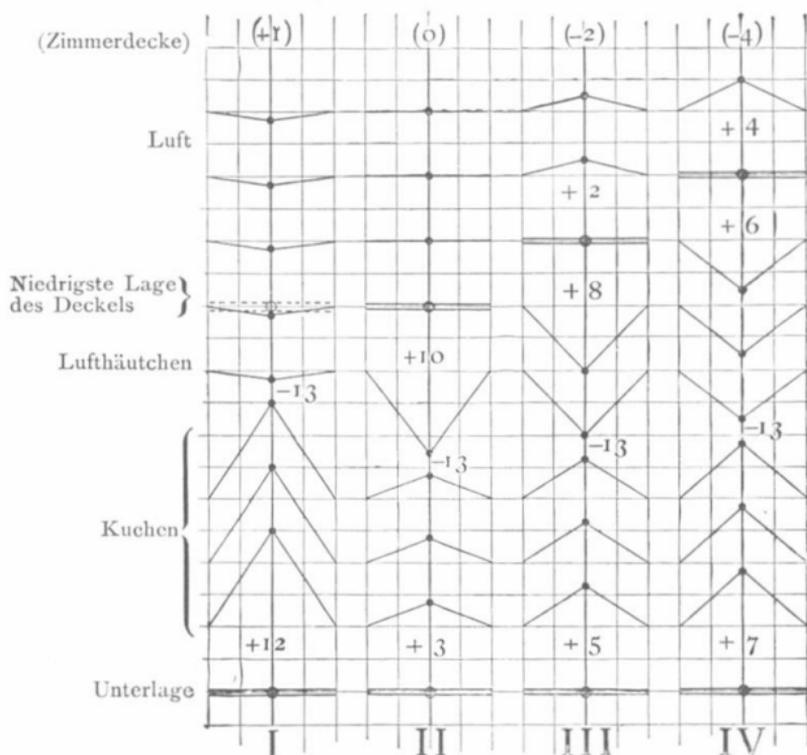


Fig. 9b. — Vorgänge am Elektrophor. Die doppelten Linien bezeichnen feste Stäbe, an denen gleitende Kugeln befestigt sind und bedeuten Metall. Die haftenden Kugeln, die mit Gummibändern befestigt sind, bedeuten das Dielectricum. Ziffern hinter + oder - bedeuten Ladungen. Die Ladung auf der Oberfläche des Kuchens ist konstant. Die Unterlage soll mit der Erde und den Zimmerwänden verbunden sein. Die eingeklammerten Zahlen oben bedeuten die inducirte Ladung auf Zimmerdecke und Wänden. Die Luftschicht ist nicht in ihrer ganzen Ausdehnung dargestellt; sie muss dick genug sein, um auf Diagramm I der Spannung im Kuchen genau das Gleichgewicht zu halten. Die resultirende Spannung am Seil beträgt in allen Fällen Null.

- I. Der Kuchen ist geladen und der Deckel entweder abgehoben, oder, wenn er aufliegt, isolirt.
 - II. Deckel und Unterlage sind verbunden worden.
 - III u. IV. Der Deckel wird allmählich entfernt.
- Das gänzliche Entfernen und Entladen des Deckels führt wieder zu Zustand I.

ist aber sehr schwach und ganz unwesentlich. Wir nehmen daher an, dass der Deckel keine Dicke habe und bringen ihn in die Lage, die auf dem Diagramm als die niedrigste bezeichnet ist. Die Spannung geht durch ihn hindurch und es verändert sich nichts, mit Ausnahme der Schicht, deren Stelle der Deckel eingenommen hat. Die punktierten Linien auf Diagramm I zeigen den Deckel in dieser Lage, während er noch isoliert ist. Er berührt den Kuchen nicht unmittelbar; denn zwischen ihm und der negativ geladenen Oberfläche befindet sich, wie die Abbildung zeigt, ein Häutchen von Luft oder von der Substanz, woraus der Kuchen besteht.

Nunmehr verbindet man den Deckel mit der Unterlage. Sofort tritt der Zustand ein, den man auf Diagramm II sieht.

Eine Ladung von 9 Einheiten geht von der Unterlage auf den Deckel über und verbindet sich mit der zuvor auf der Wand befindlich gewesenen Ladung 1 zu einer Gesamtsumme von 10.¹⁾ Die Spannung der Atmosphäre über dem Deckel ist vollständig aufgehoben und die ganze Erregung geht nunmehr inwendig zwischen Deckel und Unterlage vor sich. Die Spannung des

¹⁾ Wäre die Unterlage isoliert und vollzöge sich die Verbindung zwischen Deckel und Unterlage gleichfalls unter Isolierung, so würde die Einheit auf der Zimmerwand bleiben; der Deckel würde dann nur eine Ladung 9 erhalten und die schwache Spannung der Atmosphäre darüber, die auf Diagramm I dargestellt ist, würde unverändert fortbestehen.

Kuchens hat bedeutend nachgelassen, und die Arbeit, dem übrigbleibenden Rest das Gleichgewicht zu halten, hat nun die sehr dünne Schicht zwischen Deckel und Oberfläche des Kuchens zu leisten. Dieses Häutchen befindet sich daher in starker Spannung.

Jetzt hebt man den wiederum isolirten Deckel ab. Je mehr wir ihn heben, deso mehr neue dielektrische Schichten treten zwischen ihn und den Kuchen und übernehmen einen Theil der Spannung. Dies hat dreierlei Folgen. Erstens entlasten sie die ausserordentlich dünne Schicht; zweitens vermehren sie die Spannung in dem Kuchen; und drittens erzeugen sie eine kleine Spannung in der Luft oberhalb des abgehobenen Deckels. Die Unterlage erhält daher 5 statt 3 Einheiten; der Deckel behält zwar die Ladung 10; ein Theil derselben befindet sich aber auf seiner Oberseite und eine inducirte Ladung -2 erscheint an der Zimmerwand. Diagramm III zeigt diesen Zustand.

Auf Diagramm IV ist der Deckel noch höher gehoben. Schliesslich weisen, bei unendlich weiter Entfernung von dem Kuchen, seine Ober- und Unterseite die gleiche Ladung auf, nämlich 5, und der Kuchen nebst Deckel sind in ihren Anfangszustand zurückgekehrt. Da der Deckel jetzt die Ladung 10 enthält, so wird die Zimmerwand, wo immer der Deckel sich befindet, die Ladung -10 enthalten und der Deckel kann ganz nach Belieben entladen werden, ohne dass der Kuchen dadurch beeinflusst würde. Ist die Entladung erfolgt, so kann man den Deckel

wieder aufsetzen, wie auf Diagramm I, und damit den Kreislauf der Erscheinungen wiederholen.

Setzt man den Deckel vor erfolgter Entladung wieder auf, so vollzieht sich derselbe Kreislauf in umgekehrter Reihenfolge von IV bis II.

Stellt man einen Elektrophor auf einen Isolirschmel und verbindet seine Unterlage durch ein empfindliches Galvanometer mit der Erde, so kann man das Ausströmen der Elektrizität leicht beobachten, je nachdem der Deckel berührt oder abgehoben wird.

23. Noch eine andere Erscheinung von hoher Wichtigkeit erheischt eine erläuternde Darstellung, um klar verständlich zu werden. Es ist dies die Wirkung, welche eintritt, wenn in ein polarisiertes Mittel statt der Metallscheibe irgend ein anderes, vollständig isolierendes Dielektricum, das aber andere induktive Kapazität besitzt, eingeführt wird. Man lege z. B. eine dicke Glasscheibe zwischen die Platten eines geschichteten Kondensators. Die Wirkungen gestalten sich verschieden, je nachdem die Platten des Kondensators mit einer gegebenen Menge geladen, oder auf konstanter Potentialdifferenz erhalten werden.

Man betrachte Fig. 9c. Wir nehmen an, dass die 8 gleichartigen Schichten durch eine elektromotorische Kraft 24 verschoben sind; die Spannung in dem Seil (negatives elektrisches Potential) steigt daher bei jeder Schicht um eine Stufe 3. Diagramm I zeigt dieses Anfangsstadium. Man klemme nun das Seil fest, d. h. man

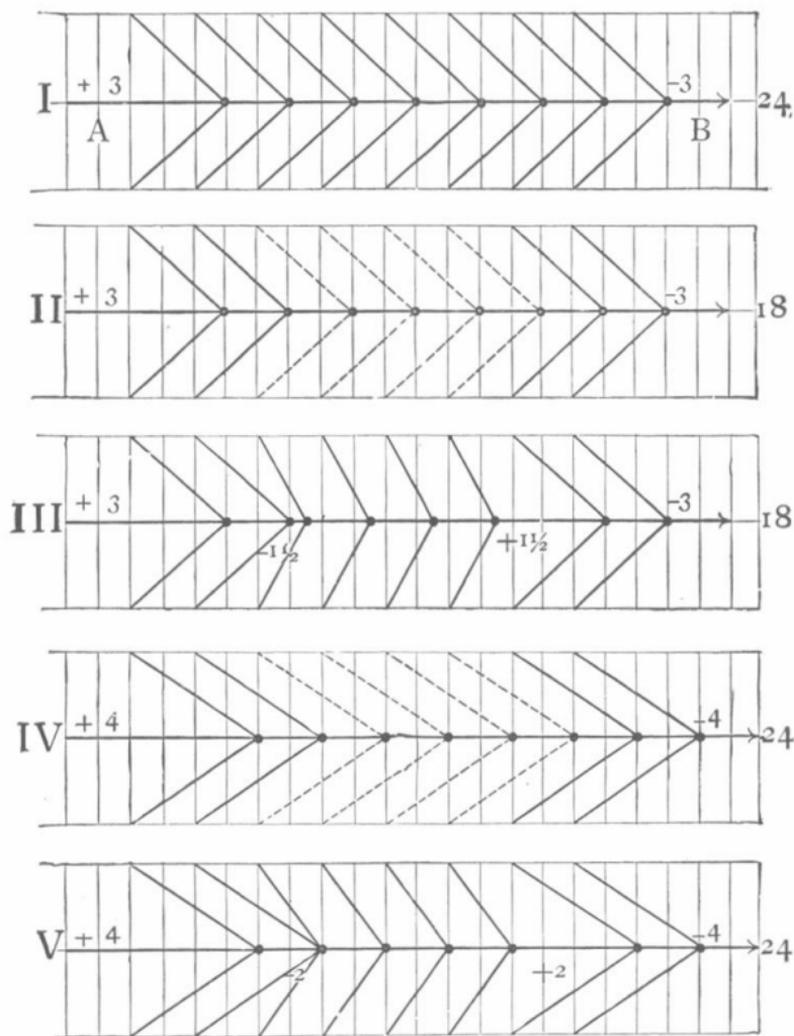


Fig. 9c. — Wahre und scheinbare Wirkung der Einführung einer Glasscheibe zwischen die Platten eines Kondensators.

- I. Kondensator mit einer Kapazität von $\frac{1}{8}$.
- II. Einführung einer Glasscheibe, die halb so dick ist, wie das Dielektricum und deren spezifische induktive Kapazität 2 beträgt. Die Ladung wird konstant erhalten. Die Kapazität steigt auf $\frac{1}{6}$.
- III. Täuschende Nachahmung dieser Erscheinung mit Hilfe von Oberflächenladungen ohne Veränderung der induktiven Kapazität.
- IV. Einführung der Glasscheibe in einen Kondensator, der mit einer konstanten elektromotorischen Kraft versehen ist. Die Kapazität sinkt wieder auf $\frac{1}{8}$.
- V. Nachahmung dieser Erscheinung mit Hilfe von Oberflächenladungen.

ertheile den beiden Platten A und B eine konstante Ladung. Dann führe man eine Glasscheibe ein, mit anderen Worten, man ersetze die 4 mittleren Schichten durch Gummilagen, die nur halb so steif sind. (Siehe II.) Die Spannung in dem Seil steigt nun bei jeder dieser Schichten nur um $1\frac{1}{2}$ und die Gesamtdifferenz des Potentials beträgt jetzt statt 24 nur 18. Die Ladungen bleiben inzwischen konstant und die Oberflächen der Glasscheibe sind nicht geladen; die Kapazität des Kondensators ist also im Verhältniss von 4 zu 3 gestiegen.

Obgleich die Oberflächen der Glasscheibe nicht geladen sind, so ist die Wirkung doch fast dieselbe, als ob sie es wären. Das Seil verhält sich genau so, als ob die neuen Gummibänder noch die Widerstandskraft der früheren besäßen, die daran befestigten Kügelchen aber halbwegs zurückgerutscht wären und sich in der Lage befänden, die auf Diagramm III veranschaulicht ist. Hier sind die Oberflächen geladen, wie die Ziffern angeben. Dieser Zustand ist, wie gesagt, nicht der durch die Glasscheibe hervorgerufene, er sieht ihm aber zum Verwechseln ähnlich. Man versteht daher unter unechten oder virtuellen Ladungen auf der Oberfläche von Glasscheiben solche Ladungen, wie die auf Diagramm III veranschaulichten, welche die Wirkung von Diagramm II täuschend wiedergeben.

So viel von der Wirkung einer konstanten Ladung; setzen wir nun den Fall eines konstanten Potentials.

Diagramm IV zeigt die Wirkung, die eintritt, wenn in diesem Fall einige Gummibänder durch schwächere ersetzt werden. Die elektromotorische Kraft bleibt konstant, also entfällt auf die steifen Gummibänder eine stärkere Spannung als zuvor; innere Ladungen können nicht entstehen, solange die Substanzen vollständig isoliren, also werden alle Kügelchen gleichmässig vorwärtsgezogen. Die Spannung beträgt jetzt bei den steifen Schichten (Luft) 4 Einheiten und bei den schwächeren Schichten (Glas) 2; im Ganzen beträgt also die elektromotorische Kraft 24. Die Ladung der Platten A und B ist in Uebereinstimmung mit der Zunahme an Kapazität von ± 3 auf ± 4 gestiegen; das Verhältniss, in dem die Kapazität zunimmt, beträgt noch immer 4 zu 3. Auch hier lässt sich die eigentliche Wirkung, die Diagramm IV veranschaulicht, durch unechte Ladungen der Oberflächen ohne Veränderung der inductiven Kapazität nachahmen, wie Diagramm V zeigt, auf dem alle Gummibänder von gleicher Stärke gedacht sind.

24. *Hydraulisches Modell der Leydener Flasche.* Nächst dem Seilmodell wollen wir nun ein hydraulisches Modell betrachten, das dieselbe Reihe von Erscheinungen zum Theil sogar noch deutlicher und unmittelbarer erläutert. Da der Vorgang des Ladens stets so verläuft wie bei der Leydener Flasche, so wollen wir uns eine solche denken und sofort ihr hydrostatisches Ebenbild entwerfen.

Man denke sich also eine Leydener Flasche, die für unsere Zwecke am besten horizontal auf einem isolierten Fuss befestigt wird. Ihre Belegungen seien mit Elektroskopen aus Markkugeln versehen. Ich selbst nehme zur Veranschaulichung des hydrodynamischen

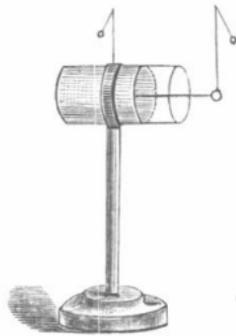


Fig. 9d.

Modells noch lieber eine vertical aufgestellte Franklin'sche Tafel und verbinde deren Belegungen je mit einem Markkugeln. Leider können die Elektroskope nicht die Verschiedenheit zwischen negativem und positivem Potential anzeigen.

Um nun das hydraulische Modell eines solchen Apparats herzustellen, nehme man eine jener Gummiblasen, die, mit Gas gefüllt, als Kinderspielzeug verkauft werden, binde diese über die Mündung einer Röhre, die mit einem Hahn *A* versehen ist, und führe die Röhre durch einen Kork in ein dreihalsiges, kugelförmiges Glasgefäß ein. Siehe Fig. 10. Die zweite Oeffnung dieses Gefäßes enthält eine zweite Röhre

mit einem Hahn *B*; die dritte Oeffnung wird verschlossen, sobald das ganze Gefäss, sowohl innerhalb wie ausserhalb der Gummibläse, vollständig mit Wasser ohne Luftblasen angefüllt ist.

Dieser Apparat stellt dann eine isolirte Leydener Flasche dar; die Gummibläse ist das Dielektricum

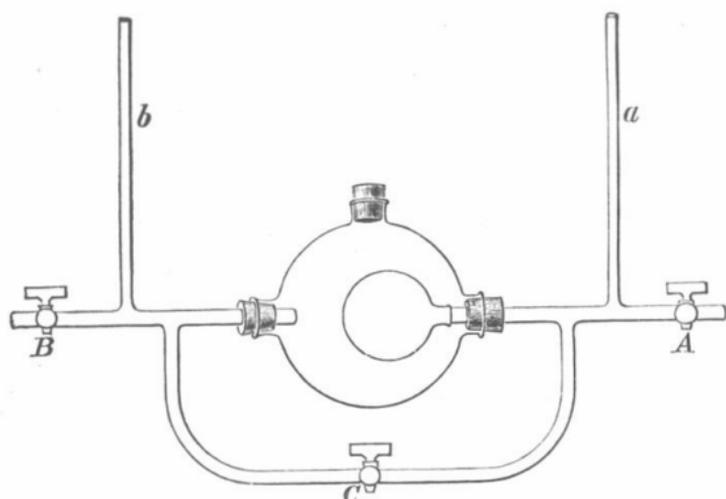


Fig. 10. — Schematisirtes, hydraulisches Modell einer Leydener Flasche.

und die mit Wasser gefüllten Räume sind die innere und äussere Belegung.

Zwei offene Manometer *a* und *b*, die in die Röhren *A* und *B* eingeführt werden, entsprechen den Elektroskopen, mit denen die Leydener Flasche verbunden ist. Eine dritte gebogene Röhre *C*, welche die innere und äussere Belegung verbindet, bildet den Entlader. Für gewöhnlich jedoch bleibt *C* natürlich geschlossen.

Eine an A angeschraubte Wasserpumpe stellt die mit der inneren Belegung verbundene Elektrisirmaschine dar. Die äussere Belegung B mündet in einen Wasserbehälter, welcher der Erde entspricht. Aus demselben Behälter entnimmt natürlich die Pumpe ihr Wasser.

Solange die Gummiblase ihre normale Ausdehnung behält und das Ganze mit Wasser ohne Luftblasen vollständig erfüllt ist, wird das Niveau des Wassers in den beiden Manometern genau so hoch sein wie in dem Behälter; das heisst das ganze System hat das Potential Null oder das Potential der Erde.

Nun schliesse man C und B , öffne A und fange an zu pumpen. Sofort beginnt das Wasser in den beiden Manometern stark und gleichmässig zu steigen. Mit anderen Worten: man versucht eine isolirte Flasche zu laden. Man drehe die mit einer wirklichen Leydener Flasche verbundene Elektrisirmaschine und man wird sehen, dass ihre beiden Markkugeln in genau derselben Weise gleichmässig steigen.

Nun öffne man B für einen Augenblick; der Druck lässt nach und beide Manometer fallen sofort scheinbar auf Null. Wiederholt man aber den Vorgang mehrere Male, so stellt sich heraus, dass b stets auf Null fällt, a jedoch jedesmal um eine grössere Strecke zurückbleibt und dass die Gummiblase sich allmählich ausdehnt. Dies entspricht dem Vorgang des Ladens durch *abwechselnde* Berührung. Man kann ihn genau in der-

selben Weise an der wirklichen Flasche wiederholen; der inneren Belegung wird jedesmal ein Funken mitgeteilt, und der äusseren Belegung ein ebensolcher Funken entzogen; unterlässt man dies, so kann die Flasche nicht geladen werden, weil Wasser (und Elektrizität) inkompressibel ist. (§ 14 A.)

Bleibt *B* dauernd offen stehen, so kann man weiter pumpen, bis sich die Gummiblase ganz ausdehnt und das Manometer *a* zu seiner vollen Höhe steigt; *b* wird, bis auf einige Schwankungen, die ganze Zeit auf Null stehen bleiben.

Ist die Flasche geladen, so verschliesse man *A*, entferne die Pumpe und verbinde das Ende von *A* unmittelbar mit dem Behälter.

Nun kann man selbstverständlich vermittelt des Entladers *C* die Flüssigkeit von der inneren nach der äusseren Belegung hinüberleiten, die Spannung aufheben und in beiden Manometern das gleiche Niveau herstellen. Geschieht dies aber, während die Flasche isolirt ist, das heisst während *A* und *B* verschlossen sind, so wird das gemeinsame Niveau der Manometer nach der Entladung nicht auf Null fallen, sondern halben Weges darüber stehen bleiben. Dasselbe beobachtet man bei der Leydener Flasche, wenn sie auf gewöhnliche Art geladen, isolirt, entladen und dann berührt wird.

Statt uns des Entladers *C* zu bedienen, können wir die Entladung auch durch abwechselnde Berüh-

rung vornehmen. Dieser Vorgang ist ungemein lehrreich.

Man beginne, wenn Manometer *b* auf Null und Manometer *a* unter hohem Druck steht. Man öffne den Hahn *A*; es wird etwas Wasser aus der inneren Belegung herausgepresst und Manometer *a* fällt auf Null; während aber die Gummiblase zusammenschrumpft, zieht sie das Wasser in die äussere Glaskugel und saugt daher das Manometer bis unter Null herab; dabei fallen beide Manometer ziemlich um demselben Betrag.

Nun schliesse man *A* und öffne *B*; alsdann tritt etwas Wasser aus dem Behälter herein, verringert die Spannung der Gummiblase und beide Manometer steigen; *b* bis Null, *a* beinahe bis zu seiner ursprünglichen Höhe.

Nun schliesse man *B* und öffne *A* nochmals; wieder fallen die beiden Manometer. Kehrt man die Hahnstellung um, so steigen sie wieder. Dieses wiederholt man so lange, bis die Blase ihren normalen Umfang wiedererlangt hat. Auf solche Weise entladet man durch abwechselnde Berührung und erhält ein genaues Bild von den Vorgängen bei abwechselnder Ableitung der äusseren und inneren Belegungen zur Erde. Die Markkugelchen steigen abwechselnd unter der Einwirkung positiver und negativer Elektrizität und bezeichnen die Potentiale über und unter Null.

Die Figuren 11 und 12 sind Abbildungen von Apparaten, die ich eigens für diesen Zweck bauen

liess. Das kugelförmige Glasgefäß mit der darin eingeschlossenen, halbaufgeblähten Gummiblase, die Pumpe, der Wasserbehälter, die Manometer *a* und *b*, die Hähne *A B C* sind leicht zu erkennen.

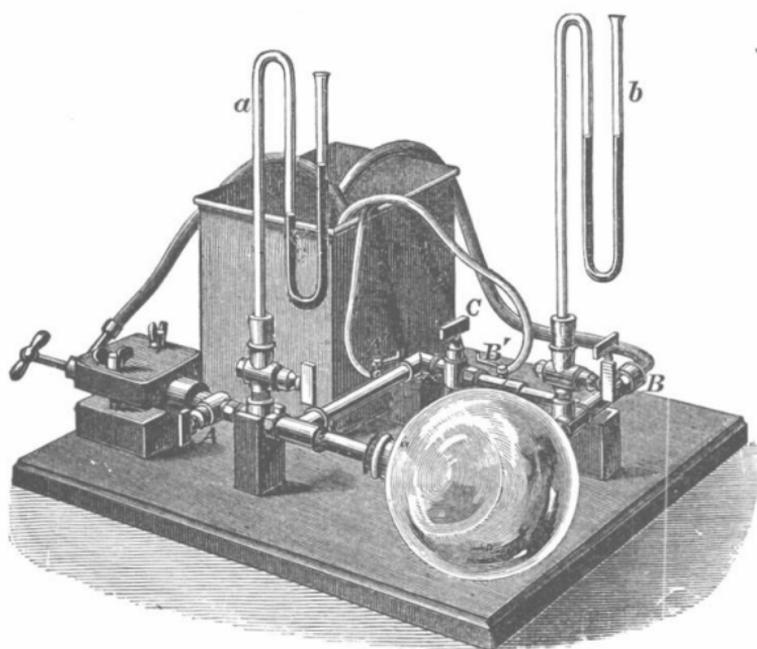


Fig. 11. — Erstes hydraulisches Modell der Leydener Flasche mit Quecksilbermanometern als Elektroskopen. Die Glaskugel enthält eine Gummiblase, die anschwillt, wenn sie vollgepumpt wird. Das Niveau des Wassers in dem grossen Behälter stellt das Erdpotential dar. Biegsame mit Wasser angefüllte Schläuche vermitteln, wenn erwünscht, die Ableitung zur Erde. Die Manometer *a* und *b* bilden die mit je einer Belegung verbundenen Elektroskope.

Hinzugefügt sind noch zwei besondere Hähne *A'* und *B'*, die sich unmittelbar in den Behälter öffnen und uns der Mühe überheben, die Pumpe auszuschalten und *A* direkt zu verbinden, wenn wir Entladung durch abwechselnde Berührung darstellen wollen. Die Höhe des

Behälters auf Fig. 12 genügte nicht; ich erhöhte ihn später um das Doppelte. Die ganze Höhe der Manometer ist nicht dargestellt.

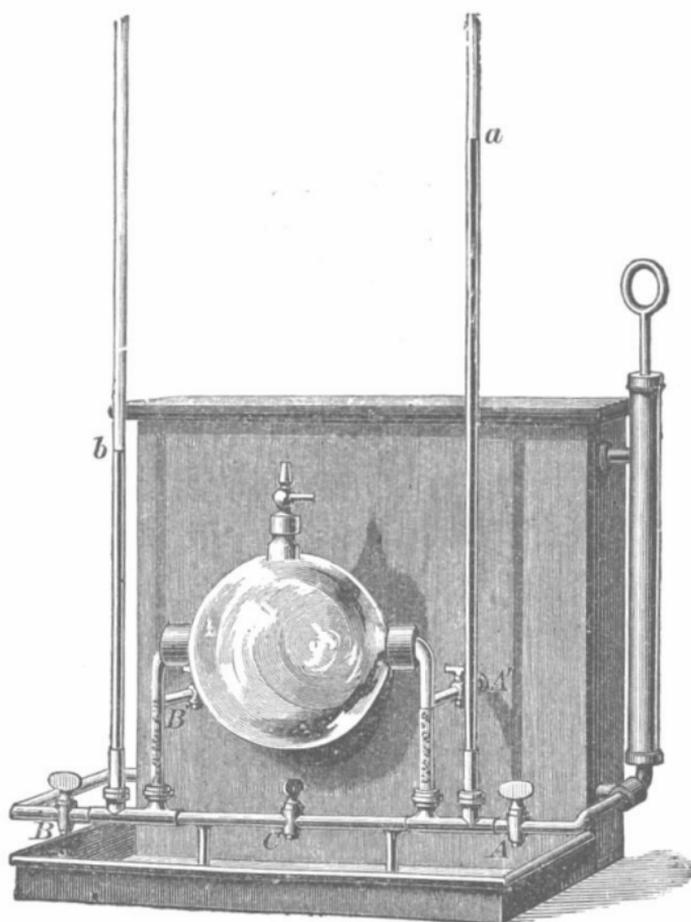


Fig. 12. — Neueste Ausführung eines hydraulischen Modells der Leydener Flasche mit Wassermanometern; das Ganze ist der Deutlichkeit halber senkrecht angeordnet. Die Pumpe ist eine Druckpumpe, deren Cylinder am oberen Ende mit dem Behälter verbunden ist, um überflüssiges Wasser abzuleiten. Die einzelnen Theile sind dem Schema auf Fig. 10 und dem Modell auf Fig. 11 entsprechend bezeichnet.

Ehe man einen der Apparate benutzt, ist es wesentlich, seine sämtlichen Röhren und Gefässe vollständig mit Wasser zu füllen. Eine grosse Luftblase, die sich bei dem ersten Modell (Fig. 11) oben in der Glaskugel bildete, war anfangs schwer zu entfernen. Obgleich sie an dieser Stelle wenig störte, ist zu ihrer Entfernung bei der neusten Ausführung (Fig. 12) ein Hahn angebracht. Die Manometer auf Fig. 11 können auch ersetzt werden durch solche, die in einem Projektionsapparat angeordnet und durch biegsame mit Luft angefüllte Schläuche verbunden sind.

25. Ich bin deshalb so ausführlich auf die hydraulische Darstellung der Erscheinungen an der Leydener Flasche eingegangen, weil diese den Schlüssel liefern zu einem grossen Theil der Elektrostatik. Die Darstellung ist zwar nicht vollständig; verbinden wir aber mit ihr unsere Erfahrungen an den Seilmodellen und die bereits erworbenen Anschauungen über Leitung und Isolation im Allgemeinen, so bringt sie uns entschieden um einen Schritt weiter.

Man denke sich die elektrischen Erscheinungen hervorgebracht durch eine alles durchdringende, in Gallerte eingebettete Flüssigkeit; man denke sich die Leiter als Hohlräume und Röhren in dieser Gallerte; man denke sich die Elektrisirmaschine als eine Pumpe; Ladung als Vermehrung und Verminderung; Anziehung als hervorgerufen durch Spannung; Entladung als Zerplatzen; Entladung der Leydener Flasche als ein Zurückschnellen

oder einen Rückschlag, der so lange oscillirt, bis seine Energie verbraucht ist.

Gewöhnt man sich an diese Denkungsweise, so gewinnt man ein richtigeres Verständniss für den Gegenstand und einen tieferen Einblick in die wirklichen Vorgänge der Natur — so unbekannt auch diese, streng genommen, noch sein mögen — als wenn man an der alten Vorstellung von einer Wirkung in die Ferne festhält, oder sich garkeiner Theorie bedient, mit Hülfe deren man die Thatsachen unter einander verknüpfen kann. Man wird so der Wahrheit um einen Schritt näher kommen; freilich nur um einen Schritt.

Welche Veränderungen und Zusätze noch gemacht werden müssen, ehe eine vollständige Theorie der Elektrizität entsteht, das kann ich nicht mit Bestimmtheit voraussagen. Doch bin ich überzeugt, dass es viele sein werden; ebenso überzeugt bin ich aber, dass es unvernünftig wäre, zwischen einer Menge complicirter Erscheinungen umherzutappen, ohne einen anderen Anhalt als den starrer, mathematischer Formeln.

Die mathematische Theorie des Potentials hat zwar für sicheren, zuverlässigen Fortschritt gesorgt und macht es mathematisch geschulten Forschern möglich, sich bis jetzt ohne Theorien der Elektrizität und ohne bildliche Vorstellungen zu behelfen. Doch giebt es nur Wenige, deren Einsicht stark genug wäre, um aller geistigen Hilfsmittel mit Ausnahme der strengsten, formellsten entrathen zu können; und Niemand, der nicht aus

einer bildlichen Darstellung der wirklichen Vorgänge Gewinn ziehen würde, wenn diese mit Sicherheit anwendbar wäre.

Eine solche habe ich versucht meinen Lesern theilweise vorzuführen und hoffe dadurch, sofern es mir gelungen ist mich verständlich zu machen, ein wenig zur Erleichterung des Studiums der Elektrizität beigetragen zu haben.

Anmerkung.

Herr Fitzgerald hat mich auf einen ziemlich versteckten Fehler auf Seite 69 aufmerksam gemacht, den ich in augenfälliger Weise zu berichtigen wünsche, weil er in der ersten Auflage vorkommt und möglicherweise meine Leser irregeführt hat. Es handelt sich um die Entladung einer isolirten Leydener Flasche. Das hohe Potential, das eine isolirte Flasche nach der Entladung aufweist, hängt vollständig ab von der freien Kapazität ihres Knopfes und ihrer herausragenden Theile. Wäre die innere Belegung ganz in der äusseren eingeschlossen, so könnte das Strömen der Elektrizität aus der einen in die andere keine Veränderung des Potentials in der äusseren Belegung hervorbringen, sonst wäre das Resultat des Faraday'schen Versuchs mit dem Eiseimer widerlegt. Es liesse sich einwenden, dass, wenn die eine Belegung auf V und die andere auf Null steht,

das mittlere Potential $\frac{1}{2} V$ betragen würde und nach der Entladung unverändert bleiben müsste. Das Potential ist aber nicht eine Menge, die gemittelt wird: das gewöhnliche Potential nach der Entladung, wenn das Innere keine freie Kapazität besitzt, beträgt Null.