universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Elementare Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus

Thompson, Silvanus Phillips

Tübingen, 1897

Kapitel I. Reibungselektrizität

urn:nbn:at:at-ubi:2-6344

ERSTER TEIL.

KAPITEL I.

REIBUNGSELEKTRIZITÄT.

I. VORLESUNG: *Elektrische Anziehung und Abstossung.*

1. Elektrizität. — Mit dem Namen *Elektrizität* bezeichnet man ein unsichtbares Agens, welches wir nur aus seinen Wirkungen kennen lernen können, sowie aus einer Reihe von Erscheinungen, die wir unter dem Namen *elektrische* zusammenfassen. Diese früher unverständlichen, ja geheimnissvollen Erscheinungen lassen sich heutzutage genau erklären, obgleich wir über die wahre Natur der Elektrizität selbst auch jetzt noch wenig wissen. Dieselbe ist weder Stoff noch Energie, und doch kann sie augenscheinlich mit dem Stoff in Verbindung gebracht werden, und wir können sie durch Aufwand von Energie in Bewegung setzen. In der That ist ihre grosse praktische Bedeutung auf den Umstand zurückzuführen, dass wir diejenige Energie, welche wir zur Erregung von Elektrizität an irgend einer Stelle eines Systems verwandt haben, an einer beliebigen andern Stelle desselben als elektrisches Licht, als elektrische Wärme oder Arbeit wieder auftreten lassen können, und zwar kann eine derartige Kraftübertragung auf sehr grosse Entfernungen stattfinden, wobei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine ungeheuer grosse ist. Die Elektrizität ist offenbar ebenso unzerstörbar, wie Stoff und Energie; sie kann weder von selbst entstehen noch vernichtet werden, aber sie lässt sich in Bezug

auf Stoff und Energie umwandeln und kann von einem Orte zum andern fortbewegt werden. In mancher Beziehung verhält sie sich ähnlich wie eine inkompressibele Flüssigkeit, in anderer wie ein stark verdünntes, gewichtsloses Gas. Sie scheint fast gleichmässig über den ganzen Raum verteilt zu sein. Viele Schriftsteller (darunter der Verfasser) sind geneigt, sie mit dem Lichtäther zu identifizieren; jedenfalls existiert zwischen beiden, falls sie nicht dasselbe sind, eine enge Beziehung. Das ist eine notwendige Folgerung der grossen Maxwell'schen Entdeckung, dass das Licht selbst eine elektrische Erscheinung ist, und dass Lichtwellen gleichbedeutend mit elektrischen oder — nach der Maxwell'schen Ausdrucksweise — mit elektromagnetischen Wellen sind.

Den Namen *Elektrizität* gebraucht man auch zur Bezeichnung derjenigen Wissenschaft, welche von den elektrischen Erscheinungen und Theorieen handelt. Diese Erscheinungen lassen sich in vierfacher Beziehung betrachten. Befindet sich die Elektrizität in Ruhe, so sind die elektrischen Vorgänge anderer Art, als wenn die Elektrizität in Bewegung ist oder fliesst. Daher haben wir gesondert zu betrachten 1. die Gesetze statischer *Ladungen* und 2. die der elektrischen *Ströme.* Ferner zeigt die im geschlossenen Kreise strömende Elektrizität gewisse Eigenschaften, welche unabhängig entdeckt und mit dem Namen 3. *Magnetismus* bezeichnet worden sind. Endlich lässt die im Zustande schneller Vibration befindliche Elektrizität neue, bei den drei andern Zuständen nicht auftretende Eigenschaften erkennen: sie veranlasst 4. die Fortpflanzung der *Wellen.* Diese vier Abschnitte der Elektrizitätslehre sind jedoch eng mit einander verwandt. Der Zweck des vorliegenden Buches ist der, dem Leser eine allgemeine Übersicht der hauptsächlichsten Thatsachen und ihrer einfachen Beziehungen zu einander zu geben.

In den ersten Vorlesungen beschäftigen wir uns mit den elektrischen Ladungen, ihrer Erzeugungsweise durch Reibung, Influenz und verschiedene andere Methoden, und untersuchen dieselben hauptsächlich mit Hilfe der durch sie veranlassten

Anziehung und Abstossung. Darauf gehen wir zur Lehre vom Magnetismus und zu den elektrischen Strömen über und untersuchen die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen. Am Schlusse geben wir eine kurze Erörterung über elektrische Wellen.

2. **Elektrische Anziehung.** Wenn man ein Stück Siegellack, Harz oder einen Glasstab mit einem wollenen oder seidenen Lappen reibt, so findet man, dass dieselben eine Eigenschaft bekommen haben, welche sie früher nicht hatten: nämlich die Fähigkeit, leichte Körper, wie Häcksel, Staubteilchen oder Papierschnitzel anzuziehen. Diese merkwürdige Eigenschaft wurde zuerst an dem Bernstein (griechisch ἤλεκτρον) beobachtet, und wird erwähnt von Thales von Milet (600 v. Chr.), sowie von Theophrast in seiner Abhandlung über Edelsteine, welche nach der Reibung leichte Körper anziehen. Obgleich sehr viele Körper diese Eigenschaft besitzen, waren doch Bernstein und Gagat die beiden einzigen, an denen die Alten dieselbe erkannt hatten, und bis zu dem Zeitalter der Königin Elisabeth von England ist kein Fortschritt auf diesem Gebiete zu verzeichnen. Erst um das Jahr 1600 fand Dr. Gilbert in Colchester bei seinen Versuchen, dass nicht allein Bernstein und Gagat jene Eigenschaft besitzen, sondern noch eine grosse Zahl anderer Körper, wie z. B. Diamant, Saphir, Bergkrystall, Glas, Schwefel, Siegellack, Harz etc., welche er deshalb *elektrische Körper* nannte[1]). Seit jener Zeit gebraucht man allgemein für jenes Agens, welches die erwähnten Erscheinungen hervorruft, das Wort **Elektrizität**[2]). Gilbert bemerkte ferner noch, dass die Versuche bei vorhandener Feuchtigkeit misslingen.

3. Eine bessere Methode, jene anziehende Kraft zu beobachten, besteht darin, dass man eine kleine Hollundermark- oder

---

1) »Electrica quae attrahunt eadem ratione ut electrum.« — Gilbert.

2) Das erste Werk, welches diesen Namen gebraucht, ist das des Robert Boyle: Über die mechanische Erregung der Elektrizität. Oxford 1675.

Korkkugel mittelst eines dünnen Fadens an einem Stativ befestigt, wie es Fig. 1 zeigt. Wenn man alsdann eine trockene, warme Glasröhre durch starkes Reiben mit einem seidenen Tuche erregt, so wird dieselbe die Hollundermarkkugel kräftig anziehen, ein Beweis, dass sie in hohem Grade elektrisiert ist. Als geeignetstes Reibzeug für ein Stück Siegellack erweist sich Flannell, Wolle oder, am besten von allen, Pelzwerk. Boyle fand, dass ein elektrisierter Körper selbst wieder von einem zweiten nicht elektrisierten angezogen wird. Dies lässt sich in folgender Weise darthun (siehe Fig. 2): man hängt eine geriebene Siegellackstange oder einen geriebenen Glasstab in einer Drahtschlinge an dem einen Ende eines *seidenen* Fadens auf; streckt man dann nach dem aufgehängten elektrisierten Körper die Hand aus, so wird derselbe sich drehen und der Hand sich nähern. Ebenso wird man finden, wenn ein seidenes Band mit erwärmtem Kautschuk gerieben oder auch nur zwischen zwei erwärmten Flanelllappen hindurchgezogen wird, und man es dann an dem einen Ende fasst, dass sein anderes Ende von in die Nähe gebrachten Gegenständen angezogen wird. Bringt man das Band in die Nähe der Zimmerwand, so wird es gegen dieselbe fliegen und dort haften bleiben. Bei geeigneten Vorsichtsmassregeln lässt sich zeigen, dass sowohl das Reibzeug als auch der geriebene Körper sich im elektrischen Zustande befinden, denn beide werden leichte Körper anziehen; um dies nachzuweisen, muss man sich aber

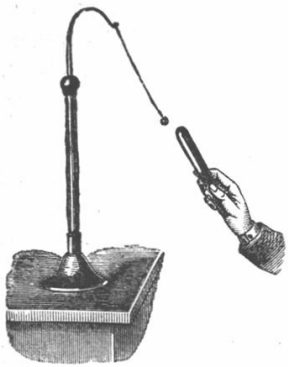

Fig. 1.

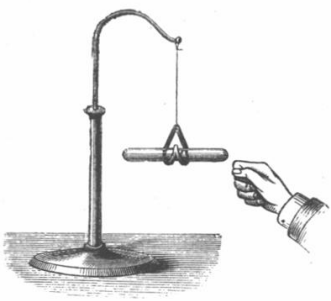

Fig. 2.

in acht nehmen, das Reibzeug nicht zu viel zu berühren. Will man zeigen, dass in dem Falle, wo eine Siegellackstange mit einem Stück Kaninchenfell gerieben wird, letzteres ebenfalls elektrisch wird, so thut man gut, das Fell nicht mit der Hand anzufassen, sondern es an das eine Ende eines gläsernen Handgriffes zu binden. Der Grund dieser Vorsichtsmassregel soll am Ende dieser und ausführlicher in der vierten Vorlesung angegeben werden.

Viele Körper, so insbesondere Eisen, Gold, Messing und alle Metalle zeigen, wenn man sie mit der Hand anfasst und dann reibt, keine Spur von Elektrizität, d. h. sie ziehen leichte Körper nicht an, wie dies geriebener Bernstein oder geriebenes Glas thun. Gilbert führt auch noch Perlen, Marmor, Achat und Magnetstein unter denjenigen Körpern auf, welche durch Reiben nicht elektrisch erregt werden. Solche Körper nannte man deshalb früher *aneiektrisch.* Diese Bezeichnung ist aber falsch, denn wenn man solche an gläsernen Handgriffen befestigt und dann mit Seide oder Pelz reibt, so verhalten sie sich wie die elektrischen Körper.

4. Elektrische Abstossung. Experimentiert man mit einem geriebenen Glasstabe und Papier- oder Strohschnitzeln oder Kleie, so wird man finden, dass letztere zuerst angezogen und gegen den elektrisierten Stab fliegen, dann aber nach der Berührung mit diesem sogleich wieder abgestossen werden und auf den Tisch zurückfallen. Um diese Abstossung besser zu zeigen, hänge man eine kleine Feder oder Dune mittelst eines seidenen Fadens an einem Stativ (Fig. 3) auf und bringe einen elektrisierten Glasstab in die Nähe. Die Feder wird dann gegen den Stab fliegen und daran haften bleiben, um im nächsten Augenblicke durch

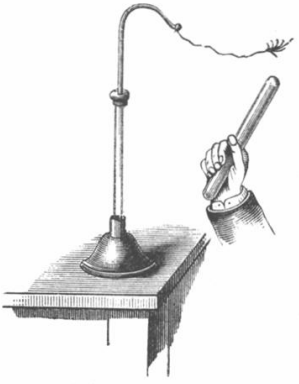

Fig. 3.

eine unsichtbare Kraft wieder abgestossen zu werden; sie wird nun nicht wieder vom Glasstabe angezogen. Wenn man aber jetzt die Hand der Feder nähert, so wird sie gegen diese fliegen, wie der geriebene Körper in Fig. 2; ein Beweis, dass die Feder, obgleich sie nicht selbst gerieben wurde, doch dieselbe Eigenschaft besitzt, welche ursprünglich dem Stabe durch Reiben mitgeteilt wurde. In der That ist die Feder elektrisch geworden durch die Berührung mit einem elektrisierten Körper, welcher einen Teil seiner Elektrizität an sie abgegeben hat. Aus diesem Versuche kann man aber noch einen weiteren Schluss ziehen, nämlich den, dass zwei mit derselben Elektrizität geladene Körper sich gegenseitig abstossen. Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich in folgender Weise zeigen. Hängt man einen geriebenen Glasstab wie in Fig. 2 auf, so wird derselbe von einem zweiten geriebenen Glasstabe abgestossen, ebenso wird eine geriebene Siegellackstange von einer zweiten geriebenen Siegellackstange abgestossen. Eine andere Methode, um die gegenseitige Abstossung zweier in gleicher Weise elektrisierten Körper zu zeigen, besteht darin, dass man zwei kleine Hollundermarkkugeln mittelst dünner Seidenfäden an ein gläsernes Stativ hängt, wie in Fig. 4, und beide mit demselben geriebenen Glasstabe berührt. Sie stossen sich dann gegenseitig ab und fliegen auseinander, anstatt, wie vorher, schlaff neben einander zu hängen. Je mehr man ihnen den Glasstab nähert, desto weiter entfernen sie sich von einander, denn jetzt übt derselbe auf beide eine abstossende Kraft aus. Die Abstossung, welche zwischen den einzelnen Teilen eines elektrisierten Körpers selbst statt findet, lässt sich sehr schön durch den Versuch mit einer elektrisierten Seifenblase zeigen: dieselbe dehnt sich nach dem Elektrisieren aus.

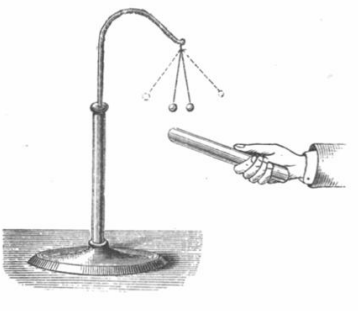

Fig. 4.

5. Zwei verschiedene Arten der Elektrizität. Elektrisierte Körper stossen sich jedoch nicht immer ab. Die Feder, welche (Fig. 3) mit einem geriebenen Glasstabe in Berührung gebracht und in Folge hiervon von demselben abgestossen wurde, wird angezogen, wenn man ihr eine geriebene Siegellackstange nähert; und umgekehrt, wenn die Feder zuerst durch Berührung mit der geriebenen Siegellackstange elektrisiert wurde, so wird sie von einem geriebenen Glasstabe angezogen und von dem geriebenen Siegellack abgestossen. In gleicher Weise wird ein geriebener Glasstab, den man wie in Fig. 2 aufgehängt hat, angezogen von einer geriebenen Siegellackstange oder einem Stück Harz oder Bernstein, abgestossen dagegen von einem geriebenen Glasstabe. Wenn man die beiden Hollundermarkkugeln, wie in Fig. 4, mit einem geriebenen Glasstabe berührt, so entfernen sie sich von einander in Folge der Abstossung, und, wie wir gesehen haben, um so mehr, je näher man ihnen den elektrisierten Glasstab bringt; dagegen nähern sie sich wieder gegenseitig, sobald man eine geriebene Siegellackstange unter sie hält, da sie von derselben angezogen werden. Diese und ähnliche Vorgänge wurden zuerst von Symmer beobachtet, und unabhängig von ihm, durch Du Fay entdeckt, welcher zu ihrer Erklärung zwei verschiedene Arten von Elektrizität annahm, wovon sich die eine gegenseitig anziehen, während die andere sich selbst abstossen sollte. Er nannte diejenige Elektrizität, welche auf dem Glase durch Reiben mit Seide erregt wurde, Glaselektrizität, da er, allerdings fälschlich, annahm, dass Glas keine andere Art liefern könne, und diejenige Elektrizität, welche er in Körpern, wie Siegellack, Harz, Schellack, Kautschuk und Bernstein durch Reiben mit Wolle oder Flanell erregte, bezeichnete er als Harzelektrizität. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Art der erregten Elektrizität nicht allein von dem geriebenen Gegenstande, sondern auch von dem Reibzeuge abhängt. Denn Glas liefert Harzelektrizität, wenn man es mit einem Katzenfell reibt; und Harz liefert Glaselektrizität beim Reiben mit einem Lederkissen, das mit einem weichen Amalgam

aus Zinn und Quecksilber überzogen ist. Deshalb hat man diese Namen fallen lassen zu Gunsten der passenderen Bezeichnungen Franklin's, welcher die im Glase durch Reiben mit Seide erregte Elektrizität, die *positive* Elektrizität und die in harzhaltigen Körpern durch Reiben mit Wolle oder Pelz erregte, die *negative* Elektrizität nannte. Die Beobachtung Symmer's und Du Fay's lassen sich daher folgendermassen aussprechen: Zwei positiv elektrisierte Körper stossen einander ab; zwei negativ elektrisierte Körper stossen einander ab; aber ein positiv elektrisierter Körper und ein negativ elektrisierter ziehen einander an. Diese Wirkungen, welche eine Abstossung oder Anziehung zweier durch einen Zwischenraum getrennter Körper zu sein scheinen, sind in Wirklichkeit, wie jetzt feststeht, auf Vorgänge zurückzuführen, welche *in dem Medium* zwischen den Körpern vor sich gehen. Die positive Ladung übt auf die in ihrer Nähe befindliche negative Ladung thatsächlich keine anziehende Kraft aus, sondern beide werden durch Spannungen in dem umgebenden Medium gegen einander getrieben.

6. Gleichzeitige Erregung beider elektrischen Zustände. Keine Art der Elektrizität wird allein erregt; immer wird eine gleiche Quantität beider Arten erregt, und zwar tritt die eine Art an dem geriebenen Gegenstande auf, die andere in genau gleicher Menge an dem Reibzeuge. Dass diese Quantitäten gleich sind, kann in einigen Fällen klar bewiesen werden. Denn wenn man beide, sowohl die — (negative) Elektrizität des Reibzeuges wie die + (positive) Elektrizität des geriebenen Körpers einem dritten Körper mitteilt, so wird dieser *keine Elektrizität zeigen;* die beiden gleichen und entgegengesetzten Elektrizitäten werden einander genau neutralisieren. Dies zeigt der folgende einfache Versuch: Man reibe eine Siegellackscheibe an einer mit Flanell überzogenen Scheibe, indem man beide an isolierenden Handgriffen anfasst. Um den elektrischen Zustand derselben zu prüfen, benutze man ein isoliertes Metallgefäss und ein Elektroskop (vergl. Fig. 11). Wird nur eine der Scheiben in das Gefäss gebracht, so divergieren die Blättchen

des Elektroskops; werden dagegen gleichzeitig beide Scheiben in die Flasche geführt, so divergieren die Blättchen nicht, ein Beweis, dass die Ladungen der beiden Scheiben entgegengesetzt gleich sind.

Nachstehend aufgeführte Körper sind so geordnet, dass, wenn zwei von ihnen zusammen gerieben werden, der vorangehende + und der nachfolgende — elektrisch wird: *Pelz, Wolle, Elfenbein, Glas, Seide, Metalle, Schwefel, Kautschuk, Guttapercha, Kollodium oder Celluloid.*

7. **Theorieen der Elektrizität.** Man hat verschiedene Theorieen in Vorschlag gebracht, um die vorstehend beschriebenen Erscheinungen zu erklären, aber alle sind mehr oder weniger unzureichend. Symmer schlug eine „Zwei-Fluida"-Theorie vor, nach welcher man zwei unwägbare elektrische Fluida von entgegengesetzter Art unterscheidet, welche sich bei ihrer Vereinigung gegenseitig neutralisieren, und welche in allen Körpern in gleichen Mengen vereint auftreten, so lange, bis ihr Zustand durch Reiben geändert wird. Eine Modifikation dieser Theorie wurde von Franklin gegeben, welcher eine „Ein-Fluidum"-Theorie vorschlug. Nach dieser ist ein einziges elektrisches Fluidum im gewöhnlichen Zustande der Körper gleichmässig in ihnen verteilt und dieses verteilt sich, wenn sie gerieben werden, in ungleicher Weise zwischen dem Reibzeuge und dem geriebenen Körper, so dass dann der eine mehr, der andere weniger von dem Fluidum enthält, als den Durchschnittsbetrag. Aus dieser Vorstellung stammen die Ausdrücke positive (+) und negative (—) Elektrizität, welche man bis heutzutage beibehalten hat; der Körper, von welchem man annimmt, er habe einen Ueberschuss, ist mit + Elektrizität geladen, während der Körper, von welchem man annimmt, er habe weniger, mit — Elektrizität geladen ist. Diese Bezeichnungen sind jedoch ganz willkürlich, denn bei dem jetzigen Stande der Wissenschaft wissen wir nicht, in welchem von diesen beiden Zuständen ein Körper mehr Elektrizität, in welchem er weniger besitzt. In mancher Beziehung verhält sich die Elektrizität wie eine gewichtslose Substanz, die

ebenso inkompressibel ist wie eine wirkliche Flüssigkeit. Soviel steht jedoch ganz fest, dass *die Elektrizität kein materielles Fluidum ist,* was sie nun sonst auch sein möge. Einem Fluidum gleicht sie nur in so fern, als sie dem Anschein nach von einer Stelle zu einer andern fliesst, unterscheidet sich aber von jedem bekannten Fluidum in fast allen andern Beziehungen. Z. B. hat sie kein Gewicht und stösst sich selbst ab. Ueberdies ist es ganz unmöglich, zwei Fluida zu denken, deren Eigenschaften in jeder Beziehung das gerade Gegenteil von einander sein sollten. Deshalb führt es zu offenbaren Irrtümern, wenn man von einem elektrischen Fluidum oder von 2 Fluidis spricht, so bequem die Bezeichnung auch zu sein scheint. In Metallen und andern guten Leitern kann die Elektrizität sich scheinbar fortpflanzen und leicht in *Strömen* weiter fliessen. In durchsichtigen festen Körpern, wie Glas und Harz, in vielen durchsichtigen Flüssigkeiten, z. B. in Ölen, und in Gasen, wie die atmosphärische Luft (falls dieselbe ruhig und nicht verdünnt ist), kann die Elektrizität sich scheinbar nicht ausbreiten. Selbst ein Vakuum scheint ein Nichtleiter zu sein. In allen Nichtleitern kann die Elektrizität nur durch eine sogenannte elektrische *Verschiebung* (vergl. Art. 57) sich ausbreiten.

Es scheint demnach, dass die Elektrizität in Metallen leicht von Molekül zu Molekül übergehen kann, dass dieselbe dagegen bei Nichtleitern gewissermassen den Molekülen anhaftet oder mit ihnen verbunden ist. Einige Elektriker, besonders Faraday, haben eine **Molekulartheorie** der Elektrizität vorgeschlagen, nach welcher die elektrischen Zustände das Resultat gewisser besonderer Zustände der Moleküle der geriebenen Körper sind. Nach einer andern Ansicht steht der elektrische Zustand mit dem Aether in Beziehung (dem Medium, welches den ganzen Raum erfüllt und durch welches sich das Licht fortpflanzt), welcher, wie man weiss, die Moleküle der Körper umgiebt. Einige Schriftsteller sind in der That der Ansicht, dass der Aether selbst Elektrizität ist, und dass die beiden Zustände positiver und negativer Elektrisierung einfach die Folge einer Verschiebung des Aethers an

den Oberflächen der Körper sind. In diesen Vorlesungen werden wir so weit als thunlich alle Theorieen vermeiden und uns damit begnügen, nur das Wort **Elektrizität** zu gebrauchen.

8. Ladung. Die Elektrizitätsmenge, sei sie von der einen oder andern Art, welche durch Reiben oder andere Mittel an der Oberfläche eines Körpers erregt ist, wird als **Ladung** und ein elektrisierter Körper als *geladen* bezeichnet. Natürlich hat man sowohl Ladungen von verschiedener Grösse oder Stärke, wie Ladungen von verschiedener Art zu unterscheiden. Wenn die elektrische Ladung einem geladenen Körper entzogen wird, so sagt man, derselbe sei *entladen*. Gute Leiter der Elektrizität werden augenblicklich entladen, wenn man sie mit der Hand oder irgend einem andern mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter berührt, indem die Ladung in diesem Falle in die Erde entweichen kann. Einen Körper, welcher kein guter Leiter ist, kann man schnell entladen, wenn man ihn durch die Flamme einer Spirituslampe oder Kerze zieht, da die heissen Gase sofort die Elektrizität wegführen und sie in die Luft zerstreuen.

Die Elektrizität kann entweder auf der Oberfläche der Körper als *Ladung* haften, oder durch ihr Inneres als *Strom* fliessen. Der Teil der Wissenschaft, welcher von den Gesetzen der Ladungen an der Oberfläche der Körper, also von der in Ruhe befindlichen Elektrizität handelt, heisst **Elektrostatik** und wird im 4ten Kapitel behandelt. Derjenige Teil, welcher von den Strömen der Elektrizität handelt, findet sich im dritten Kapitel und noch an andern Stellen dieses Buches.

9. Methoden, den elektrischen Zustand darzustellen. Man bedient sich verschiedener Methoden, um den elektrischen Zustand der Körper darzustellen. In Fig. 5, 6 und 7 sind zwei Scheiben gezeichnet — *A* ist eine mit Wolle überzogene Scheibe, *B*

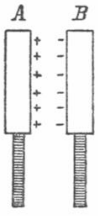

Fig. 5.

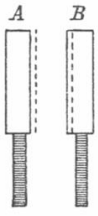

Fig. 6.

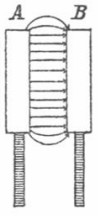

Fig. 7.

eine Harzscheibe — welche an einander gerieben sein mögen, so dass *A* positiv und *B* negativ elektrisch geworden ist. In Fig. 5 sind die Flächen mit + und — Zeichen versehen. In Fig. 6 sind punktierte Linien gezogen, und zwar ausserhalb der + elektrischen und innerhalb der — elektrischen Fläche, als wenn erstere einen Ueberschuss, letztere einen Mangel an Elektrizität aufwiese. In Fig. 7 sind zwischen beiden Scheiben Linien gezogen, welche von der + elektrischen Scheibe zu der benachbarten — Ladung führen. Die Vorzüge dieser letztern Darstellungsart sollen im 13. Artikel erläutert werden.

10. Konduktoren und Isolatoren. Den oben gebrauchten Ausdruck Leiter (Konduktor) wendet man auf diejenigen Körper an, welche die Elektrizität schnell durch sich durchfliessen lassen. Man kann im allgemeinen die Körper in 2 Klassen einteilen: In solche, welche die Elektrizität leiten, und in solche, welche sie nicht leiten. Allerdings gibt es viele Körper, von denen man streng genommen weder sagen kann, sie leiten die Elektrizität, noch auch, sie leiten sie nicht, und die deshalb nicht gut in eine jener beiden Klassen gebracht werden können. Alle Metalle leiten gut, der menschliche Körper leitet, und ebenso Wasser. Andererseits gehören Glas, Siegellack, Seide, Schellack, Guttapercha, Kautschuk, Harz, im allgemeinen alle fettigen Substanzen und die Luft zu den **Nichtleitern**. Daher gebraucht man einen Teil dieser Körper dazu, um aus ihnen Stative und Handgriffe für elektrische Apparate zu verfertigen, wenn es darauf ankommt, die Elektrizität nicht entweichen zu lassen. Aus diesem Grunde nennt man sie auch **Isolatoren**. Faraday nannte sie **dielektrische** Körper. Wir haben oben bemerkt, dass man diejenigen Körper *nicht-elektrisch* nennt, welche, wie die Metalle, keine Spur von Elektrizität zeigen, wenn man sie in der Hand hält und reibt. Wir kennen jetzt den Grund, weshalb sie keine Elektrizität zeigen; denn da sie gute Leiter sind, so fliesst die Elektrizität ebenso schnell weg, wie sie erzeugt wird. Die Beobachtung Gilbert's, dass elektrische Versuche bei feuchtem Wetter misslingen, lässt sich ebenfalls erklären, wenn man weiss,

dass das Wasser zu den Leitern gehört; die Feuchtigkeitsschicht nämlich, welche die Oberfläche der Körper bei feuchtem Wetter überzieht, lässt die durch Reibung erregte Elektrizität ebenso schnell wieder entweichen wie sie erzeugt wurde.

11. Weitere elektrische Erscheinungen. Die Erregung der Elektrizität durch Reibung wird ausser durch die Anziehung und Abstossung, welche wir bisher als Beweis für das Vorhandensein der Elektrizität hingestellt haben, noch durch andere Erscheinungen erwiesen. Otto von Guericke bemerkte zuerst, dass man von stark elektrisierten Körpern im Augenblicke ihrer Entladung Lichtfunken und Lichtblitze erhalten kann. Solche Funken werden, wie Newton und andere Forscher schon bemerkten, gewöhnlich von einem Knistern begleitet, welches im Kleinen an den den Blitz begleitenden Donner erinnert. Matte Lichtblitze erhält man auch bei der Entladung der Elektrizität durch zum Teil luftleer gepumpte Röhren. Andere Wirkungen sollen in geeigneter Folge erwähnt werden.

12. Weitere Quellen der Elektrizität. *Reibung* ist keineswegs die einzige Quelle der Elektrizität. Die übrigen Quellen, Stoss, Kompression, Wärme, chemische und physiologische Prozesse, metallische Berührung etc. sollen in der 7. Vorlesung behandelt werden. Hier wollen wir nur bemerken, dass Reibung zweier verschiedener Körper, gleichviel welcher, *stets* eine elektrische Scheidung bewirkt. Symmer beobachtete Elektrizitätserregung, als ein seidener Strumpf über einen wollenen gezogen wurde, obschon Wolle an Wolle gerieben, oder Seide an Seide keine elektrische Wirkung hervorbringt. Wenn man aber rauhes Glas an glattem Glase reibt, so bemerkt man Elektrizitätserregung, und in der That spielt auch die Beschaffenheit der Oberfläche eine sehr wichtige Rolle bei der Erregung von Reibungselektrizität. Im allgemeinen wird von zwei an einander geriebenen Körpern derjenige negativ elektrisch, dessen Teilchen bei der Reibung am leichtesten verschoben werden können. Temperaturunterschiede üben ebenfalls einen Einfluss auf die elektrische Beschaffenheit eines Körpers aus; ein warmer Körper

wird gewöhnlich negativ elektrisch, wenn man ihn an einem kalten Stücke derselben Substanz reibt. Die Menge der erregten Elektrizität ist jedoch dem Aufwande an wirklicher mechanischer Reibung nicht proportional, und deshalb scheint es zweifelhaft zu sein, ob die Reibung die wahre Ursache der Elektrizitätserregung ist. Irgend ein Vorgang findet ohne Zweifel statt, wenn man die Oberflächen zweier verschiedener Substanzen zur innigen Berührung bringt, und dies hat zur Folge, dass sie nach ihrer Trennung entgegengesetzt elektrische Ladungen aufweisen, indem der eine Körper vom andern offenbar einen Teil der Elektrizität erhalten hat (vorausgesetzt ist dabei, dass wenigstens einer der Körper ein Isolator ist.) Allein diese entgegengesetzten Ladungen ziehen einander an und können nicht von einander getrennt werden, ohne dass mechanische Arbeit an dem Systeme verrichtet wird. Die auf diese Weise verbrauchte Arbeit wird bei der Trennung der Oberflächen aufgespeichert, und so lange die Ladungen von einander getrennt bleiben, repräsentieren sie einen Vorrat potentieller Energie. Die sogenannten Reibungselektrisiermaschinen sind daher solche Maschinen, welche ungleiche Substanzen zur innigen Berührung bringen und darauf die Teilchen, welche sich berührt haben und elektrisch geworden sind, wieder von einander trennen.

Falls die an einander geriebenen Körper beide Konduktoren sind, werden dieselben nur schwach elektrisch, selbst wenn man sie an isolierenden Handgriffen hält. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die durch Reibung erzeugte Wärme, z. B. an den Achsenlagern der Maschinen, von elektrischen Strömen herrührt, welche dort entstehen, wo die Oberflächen sich berühren und wieder von einander abgleiten.

13. Elektrisches Feld. Jedes Mal, wenn zwei entgegengesetzt geladene Oberflächen einander nahe sind, zeigen sie das Bestreben, sich gegen einander zu bewegen, und der sie umgebende Raum gerät in einen eigentümlichen Zustand, als ob das dazwischen befindliche Medium gespannt worden wäre. Um den Raum zwischen zwei Körpern, von denen der eine

positiv und der andere negativ elektrisch ist, zu untersuchen, benutzen wir einen aus sehr dünnem Papier verfertigten Zeiger, durch welchen ein langes Glasstäbchen führt. (Fig. 8). Wir finden, dass dieser Zeiger sich längs unsichtbarer *elektrischer Kraftlinien* so zu stellen strebt, dass er von der + elektrischen Oberfläche quer nach der — elektrischen weist. Der mit elektrischen Kraftlinien erfüllte Raum heisst ein *elektrisches Feld.* In Fig. 7 repräsentieren *A* und *B* zwei Körper, deren Oberflächen elektrisch sind, und zwar die eine positiv, die andere negativ. In dem zwischen ihnen befindlichen Felde verlaufen die elektrischen Linien fast gerade, nur in der Nähe der Ecken sind dieselben gekrümmt. Die elektrischen Kraftlinien gehen von der + geladenen Oberfläche aus und endigen bei der — geladenen. Niemals laufen sie zusammen oder kreuzen sich. Ihre Richtung ist die der resultierenden elektrischen Kraft für jeden Punkt, durch welchen sie hindurchgehen. Die Kraft innerhalb des auf diese Weise mit Kraftlinien erfüllten Mediums wirkt gleich einer Spannung längs derselben, als ob sie das Bestreben hätten, sich zu verkürzen. In der That treibt die Spannung in dem Medium die beiden Oberflächen (Fig. 7) an einander. In dem Medium macht sich auch ein rechtwinklig zu den Kraftlinien gerichteter Druck bemerkbar, welcher ihren Abstand von einander zu vergrössern strebt. Fig. 9 stellt eine mit + Elektrizität geladene Kugel vor, welche sich in einiger Entfernung von andern Körpern befindet; hier sind die Kraftlinien des Felds einfach radial.

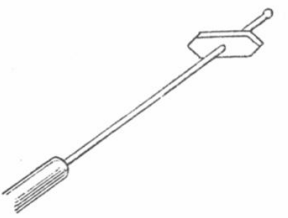

Fig. 8.

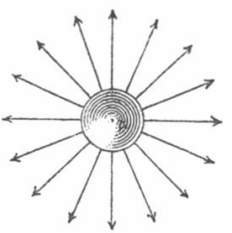

Fig. 9.

II. VORLESUNG: *Elektroskope.*

14. Einfache Elektroskope. Ein Instrument, welches

erkennen lässt, ob ein Körper elektrisch ist oder nicht, und ob die Elektrizität + oder — ist, heisst ein **Elektroskop.** Die Feder, welche angezogen oder abgestossen wurde, und die beiden Hollundermarkkugeln, welche auseinander gingen, wie wir in der ersten Vorlesung fanden, sind in der That einfache Elektroskope. Es gibt jedoch noch zahlreiche Apparate, die für diesen besondern Zweck geeigneter sind; und einige von ihnen sollen hier beschrieben werden.

15. Das Strohhalmelektroskop. Das erste Elektroskop wurde von Dr. Gilbert angegeben. Dasselbe besteht (Fig. 10)

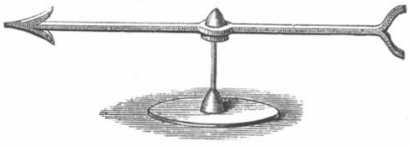

Fig. 10.

aus einem steifen Strohhalm, welcher leicht auf einer scharfen Spitze schwebt. Ein dünner Messing- oder Holzstreifen, oder auch ein Gänsefederkiel, auf einer Nähnadel schwebend, thun dieselben Dienste. Bringt man einen elektrisierten Körper in die Nähe des Elektroskopes, so dreht sich dasselbe und wird angezogen, und zeigt auf diese Weise noch Mengen von Elektrizität an, die viel zu klein sind, um Papierschnitzeln vom Tische anzuziehen.

16. Das Goldblattelektroskop. Ein noch empfindlicherer Apparat ist das **Goldblattelektroskop** (Fig. 11), welches von Bennet erfunden wurde. Wir haben gesehen, dass 2 Hollundermarkkugeln, welche mit derselben Elektrizität geladen sind, sich abstossen und von einander entfernen, wobei also die Schwerkraft zum Teil von der elektrischen Abstossung überwunden wird. Ebenso verhalten sich zwei schmale, an einer Stütze befestigte Streifen sehr dünnen Papiers, wenn man dieselben elektrisiert. Die besten Wirkungen erzielt man jedoch mit 2 Streifen Goldblatt, da dieses ausserordentlich dünn und deshalb noch viel leichter als das dünnste Papier ist. Behufs Anfertigung eines

Goldblattelektroskops hängt man zweckmässig die beiden Blätter innerhalb einer weithalsigen Glasflasche auf. Diese hat einen doppelten Zweck, einmal die Blättchen vor Luftzug zu schützen und zweitens sie vor der Berührung mit dem Erdboden zu bewahren. Durch den Kork, welchen man mit Schellack oder Paraffinwachs firnisst, führt man eine kleine ebenfalls gefirnisste Glasröhre, durch diese geht ein steifer Messingdraht, dessen unteres Ende man rechtwinklig so umbiegt, dass die beiden Goldblattstreifen dadurch gehalten werden. Das obere Ende

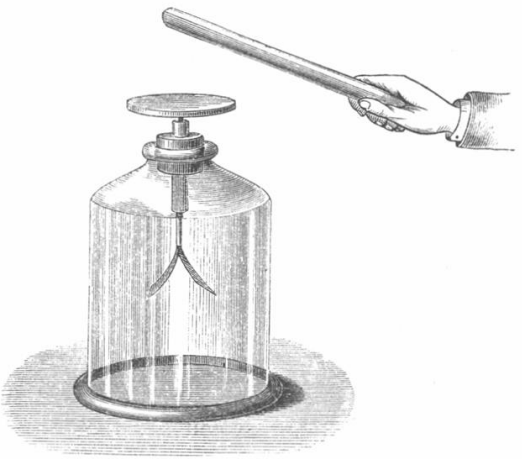

Fig. 11.

des Drahtes trägt eine kleine Metallplatte oder ist mit einem Messingknopfe versehen. Hält man das Elektroskop trocken und staubfrei, so zeigt es ausserordentlich kleine Mengen von Elektrizität an. Ein geriebener Glasstab wird noch in einer Entfernung von 2—3 Fuss von dem Apparate die gegenseitige Abstossung der Blätter bewirken. Wenn man einen Bleistift spitzt, und die Späne oben auf das Elektroskop fallen lässt, so bemerkt man, dass dieselben elektrisch sind. Ja wenn der Knopf nur mit einer Kameelhaarbürste gebürstet wird, so bringt die geringe Reibung eine merkliche Wirkung hervor. Mit Hilfe dieses Ap-

parates lässt sich zeigen, dass jede Art der Reibung Elektrizität erzeugt. Wenn Jemand auf einer isolierenden Unterlage steht, z. B. auf einem Schemel mit gläsernen Beinen oder auf einem über 4 Gläser gelegten Brette, und dann schnell mit einem seidenen Taschentuche oder mit einem Fuchsschwanze geschlagen wird oder auch nur mit einer Tuchbürste gebürstet wird, so wird er elektrisiert, was durch das Elektroskop angezeigt wird, sobald er die Hand auf den Knopf desselben legt. Das Goldblattelektroskop kann ferner dazu dienen, um die *Art* der Elektrizität eines elektrisierten Körpers anzuzeigen. Reibt man z. B. ein Stück Löschpapier mit Kautschuk, so kann man auf folgende Weise entscheiden, ob die Elektrizität des Papiers + oder — ist. Zunächst lade man die Goldblätter des Elektroskopes, indem man den Knopf mit einem an Seide geriebenen Glasstabe berührt. Die Blätter gehen auseinander, da sie jetzt beide mit + Elektrizität geladen sind. In diesem Zustande wird die Annäherung eines mit + Elektrizität geladenen Körpers die Blätter noch weiter auseinander streben lassen, während sie bei der Annäherung eines mit — Elektrizität geladenen Körpers zusammenfallen würden. Bringt man jetzt das Löschpapier in die Nähe des Elektroskopes, so findet man, dass die Blätter noch mehr divergieren, ein Beweis also, dass die Elektrizität des Papiers die nämliche ist wie diejenige, womit das Elektroskop geladen ist, also +. Bisweilen wird die Aussenseite der die Goldblätter enthaltenden Glasflasche mit dünnem Draht oder mit Foliestreifen überzogen, um die Blätter vor dem Einfluss ausserhalb befindlicher Körper zu schützen. Besser ist es, eine solche Glassorte zu verwenden, welche ein Konduktor ist.

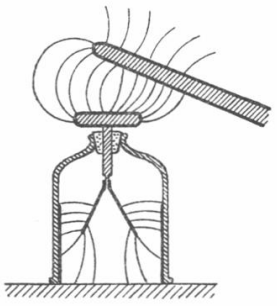

Fig. 12.

Das umgebende Medium ist bei dem Elektroskop wie folgt beteiligt (Fig. 12). Eine Anzahl der elektrischen Kraftlinien, welche das den

geriebenen Stab umgebende Feld erfüllen, führt in die Metallplatte des Elektroskops und tritt unten aus den Blättern heraus. Je mehr der Stab dem Elektroskop genähert wird, desto grösser ist die Anzahl der elektrischen Kraftlinien, welche auf den Apparat einwirken. Da eine Spannung längs der Kraftlinien und ein Druck rechtwinklig gegen dieselben ausgeübt wird, so gehen die Goldblätter auseinander, als wenn sie sich gegenseitig abstiessen.

Das Goldblattelektroskop zeigt auch den ungefähren Betrag der Elektrizität eines dasselbe berührenden Körpers an, denn die Goldblätter gehen um so mehr auseinander, je grösser die ihnen mitgeteilte Menge der Elektrizität ist. Will man jedoch eine vorhandene Elektrizitätsmenge genau messen, so muss man die unter dem Namen Elektrometer bekannten Instrumente zu Hilfe nehmen, welche in der 22. Vorlesung beschrieben werden sollen.

Bei einer andern Form des Elektroskopes (dem Bohnenberger'schen) hat man nur ein Goldblatt, welches zwischen 2 Metallplatten aufgehängt ist, von denen die eine +, die andre — elektrisch gemacht werden kann, indem man sie mit den Polen einer trockenen Säule (Art. 188) verbindet. Je nachdem das Goldblatt + oder — geladen wird, wird es von der einen oder andern Seite angezogen und von der gegenüberliegenden abgestossen, entsprechend dem in Art. 4 angegebenen Gesetze der Anziehung und Abstossung.

17. **Henley's Quadrant-Elektroskop.** Das Quadrant-Elektroskop wendet man bisweilen an, um grosse elektrische Ladungen anzuzeigen. Es besteht aus einer Hollundermarkkugel, welche am Ende eines leichten Hebelarms steckt, der durch eine Achse an einem geraden Ständer befestigt ist. Wird der ganze Apparat elektrisiert, so wird die Hollundermarkkugel von dem Ständer abgestossen und entfernt sich von demselben um einen Winkel, welcher auf einer dahinter befindlichen geteilten Skala oder einem Quadranten angezeigt wird. Fig. 13 zeigt die

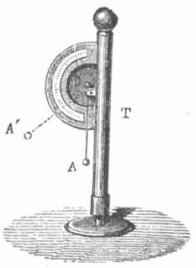

Fig. 13.

gewöhnliche Form des Apparates. Dieses kleine **Elektroskop**, welches meist nur gebraucht wird, um das Geladensein einer elektrischen Maschine oder einer Leydener Batterie zu zeigen, darf nicht mit dem in der 22. Vorlesung beschriebenen, empfindlichen Quadrant-Elektrometer verwechselt werden, dessen Aufgabe es ist, sehr kleine elektrische Ladungen zu *messen*, nicht aber grosse Ladungen *anzuzeigen*.

18. Die Torsionswage. Es erscheint zweckmässig, schon an dieser Stelle den unter dem Namen Torsionswage bekannten Apparat zu beschreiben, obgleich derselbe eigentlich mehr ein *Elektrometer*, als ein blosses *Elektroskop* ist (Fig. 14). Dieser einst berühmte, jetzt aber ganz veraltete Apparat dient dazu, die abstossende Kraft zwischen 2 mit derselben Elektrizität geladenen Körpern zu messen. Man hält dabei dieser abstossenden Kraft das Gleichgewicht durch eine zweite Kraft, die von einem feinen Drahte ausgeübt wird, der, wenn er gedrillt (tordiert) worden ist, in die Gleichgewichtslage zurückzukehren (sich zu detordieren) strebt. Die Torsionswage besteht aus einem leichten Hebelarme von Schellack, welcher innerhalb eines cylindrischen Glasgefässes an einem feinen Silberdrahte aufgehängt ist. An dem einen Ende dieses Hebels befindet sich eine vergoldete Hollundermarkkugel *n*. Das obere Ende des Silberdrahtes ist an einer Messingscheibe befestigt, auf welcher sich ein in Grade geteilter Kreis befindet. Diese Scheibe ist drehbar über der sie tragenden Röhre, und heisst die Torsionsscheibe. Durch eine Oeffnung im Deckel des Gefässes kann man in dasselbe eine zweite vergoldete Hollundermarkkugel *m* bringen, welche am Ende eines vertikalen Glasstabes *a* befestigt ist. Rings um das Glasgefäss ist in der Höhe der Hollundermarkkugeln ein Kreis gezogen, welcher ebenfalls

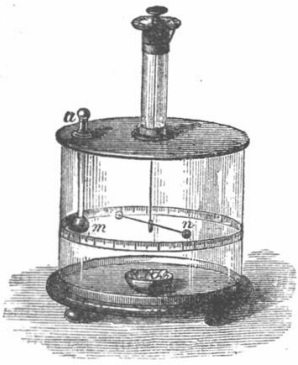

Fig. 14.

in Grade geteilt ist. Will man nun die Torsionswage dazu benutzen, die Grösse einer elektrischen Ladung zu messen, so kann man auf folgende Weise verfahren: Zuerst wird die Torsionsscheibe soweit gedreht, bis die beiden Hollundermarkkugeln *m* und *n* einander gerade berühren. Dann nimmt man den Glasstab *a* heraus und teilt die zu messende elektrische Ladung der Kugel *m* mit, welche darauf wieder in die Wage gebracht wird. Sobald *m* und *n* sich berühren, geht ein Teil der Ladung von *m* auf *n* über, und die Kugeln stossen sich gegenseitig ab, da sie nun mit derselben Elektrizität geladen sind. Deshalb wird die Kugel *n* im Kreise fortgetrieben und der Draht bis zu einem gewissen Betrage gedreht. Die abstossende Kraft wird aber um so geringer, je mehr sich *n* von *m* entfernt, während die Kraft des Drahtes wächst, je mehr derselbe gedreht wird. Daher werden sich diese beiden Kräfte einander das Gleichgewicht halten, wenn die Kugeln einen gewissen Abstand erreicht haben, und es ist klar, dass eine grosse elektrische Ladung die Kugel *n* mit einer stärkern Kraft abstösst, als eine kleine elektrische Ladung. Den Abstand, bis zu welchem die Kugel gestossen wird, liest man in Graden an der Skala ab. Wenn ein Draht gedreht wird, so ist die Kraft, mit welcher er in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, genau dem Betrage der Drehung proportional. Die Kraft, welche erforderlich ist, den Draht um 10 Grade zu drehen, ist gerade 10 mal so gross wie die Kraft, welche erforderlich ist den Draht um einen Grad zu drehen. Mit andern Worten: *Die Torsionskraft ist dem Torsionswinkel proportional.* Andererseits ist der durch Grade ausgedrückte Abstand der beiden Kugeln, falls sie nicht sehr weit von einander entfernt sind, ihrem geradlinigen Abstande nahezu proportional und drückt die Kraft aus, welche 2 elektrisierte Kugeln *in jener Entfernung* auf einander ausüben. Der Leser muss jedoch sorgfältig unterscheiden zwischen dem Messen der **Kraft** und dem Messen der wirklichen **Menge** der Elektrizität, mit welcher der Apparat geladen ist. Denn die Kraft, welche die elektrisierten Kugeln auf einander ausüben, ist bei verschiedenen Abständen

verschieden, zufolge eines besondern Gesetzes, welches das Gesetz vom umgekehrten quadratischen Verhältnis heisst und welches eine genaue Erklärung erheischt.

19. Gesetz vom umgekehrten quadratichen Verhältnis. Coulomb bewies mit Hilfe der Torsionswage, dass die Kraft, welche 2 kleine elektrisierte Körper auf einander ausüben, dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. Wenn demnach 2 elektrisierte Körper in einer Entfernung von 1 Zentimeter sich mit einer bestimmten Kraft abstossen, so findet man, dass die Kraft in einer Entfernung von 2 Zentimetern nur den vierten Teil so gross ist, wie die Kraft für 1 Zentimeter Entfernung; und bei 10 Zentimetern wird sie nur den 100. Teil so gross sein, wie bei 1 Zentimeter. Dies Gesetz wird durch folgenden Versuch mit der Torsionswaage bewiesen. Die beiden Skalen (an der oberen Messingscheibe und am Glasgefässe) wurden auf 0^0 eingestellt und den Kugeln eine bestimmte Ladung mitgeteilt. Die Kugel *n* wurde hierdurch bis zu einem Abstande von 36^0 abgestossen. Die Drehung des Drahtes zwischen seinen beiden Enden betrug ebenfalls 36^0 oder anders ausgedrückt, die abstossende Kraft zwischen den elektrisierten Kugeln war 36 mal so gross, wie die Kraft, welche erforderlich gewesen wäre, den Draht um 1^0 zu drehen. Die Torsionsscheibe wurde hierauf so gedreht, dass die Torsion des Drahtes noch vergrössert wurde, dagegen die Kugel *n* sich der Kugel *m* näherte, und zwar wurde die Torsionsscheibe so lange gedreht, bis der Abstand zwischen *n* und *m* nur noch halb so gross war. Um den Abstand von 36^0 bis auf 18^0 zu vermindern, musste man die Torsionsscheibe um 126^0 drehen. Die totale Drehung zwischen den beiden Enden des Drahtes betrug also jetzt $126^0 + 18^0 = 144^0$; und die Kraft war mithin 144 mal so gross, wie die Kraft, welche den Draht um 1^0 gedreht haben würde. 144 ist aber 4 mal so gross, wie 36; daraus erkennt man, dass, während der Abstand auf die *Hälfte* reduziert worden war, die zwischen den Kugeln wirkende Kraft *4 mal* so gross geworden war. Hätte man den Abstand auf *den vierten Teil*, also auf 9^0 reduziert, so

hätte man als totale Drehung des Drahtes 576° gefunden; also *16 mal* so gross; ein Beweis, dass die Kraft **dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist.**

Bei einem Versuche bedarf es einer grossen Erfahrung und Geschicklichkeit, um so genaue Resultate wie die vorstehenden zu erzielen, denn der Apparat gibt zu manchen Fehlern Veranlassung. Die Kugeln müssen im Vergleich zu ihrem gegenseitigen Abstande sehr klein sein. Ausserdem werden die elektrischen Ladungen nach und nach schwächer, als ob die Elektrizität in die Luft entwiche. Dieser Verlust wird geringer sein, falls der Apparat ganz trocken ist. Man hält daher das Innere desselben gewöhnlich dadurch trocken, dass man eine Schale mit Chlorcalcium oder Bimstein, der mit konzentrierter Schwefelsäure getränkt ist, in das Innere des Gefässes stellt, um die Feuchtigkeit aufzusaugen.

Bevor wir den Abschnitt über elektrische Kräfte verlassen, wird es gut sein hinzuzufügen, dass die *anziehende* Kraft zweier mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladenen Körper ebenfalls dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist. Und in jedem Falle, sei es Anziehung oder Abstossung, ist die Kraft in jeder beliebigen Entfernung dem **Produkte der beiden elektrischen Massen direkt proportional.** Wenn man z. B. einzeln der Kugel *m* die Ladung 2, und der Kugel *n* die Ladung 3 gegeben hätte, so würde die zwischen ihnen wirkende Kraft $3 \times 2 = 6$ mal so gross sein, als wenn jede Kugel die Ladung 1 erhalten hätte. Es muss jedoch noch erwähnt werden, dass das Gesetz vom umgekehrten quadratischen Verhältnis nur dann gilt, wenn die in Betracht kommenden Körper im Vergleich zu ihrem gegenseitigen Abstande so klein sind, dass sie als blosse Punkte gelten können. Für grosse platte oder längliche Körper gilt jenes Gesetz nicht. Die Anziehung zwischen zwei grossen platten Scheiben, welche einander gegenüberstehen und entgegengesetzt geladen sind, ist von ihrem Abstande unabhängig.

20. Feld zwischen zwei Kugeln. — Das elektrische Feld (Art. 13) zwischen zwei mit entgegengesetzten Elektrizitäten ge-

ladenen Kugeln (Fig. 15) ist mit krummen Linien erfüllt. Nach dem im Art. 13 Gesagten äussert sich längs dieser Linien eine Spannung, welche nicht allein die beiden Kugeln, sondern auch die auf ihren Oberflächen befindlichen Elektrizitäten an einander zu treiben strebt. Auch ist ein seitlicher Druck in dem Medium vorhanden, welcher die elektrischen Kraftlinien von einander fern hält. Diese Vorgänge haben zur Folge, dass die Ladungen nicht mehr gleichmässig über die Oberflächen verteilt, sondern an den zumeist genäherten Stellen am dichtesten sind.

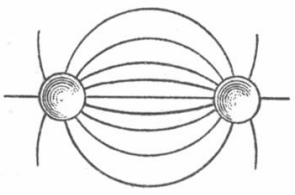

Fig. 15.

21. Elektrische Masseneinheit. Infolge dieser Gesetze über Anziehung und Abstossung hat man es sehr zweckmässig gefunden, für diejenige elektrische Masse, welche man als Einheit oder Mass nimmt, um andere elektrische Massen zu messen, die folgende Definition aufzustellen: *Die (elektrostatische) Einheit der Elektrizität ist diejenige Menge derselben, welche auf eine ihr gleiche Menge Elektrizität derselben Art bei einem gegenseitigen Abstande der beiden von 1 Zentimeter eine abstossende Kraft Eins ausübt.* Wenn ein anderes Medium wie Luft den Raum erfüllt, ist die Kraft eine andere. Benutzt man z. B. Petroleum, so ist die Kraft, welche zwei gegebene Ladungen auf einander ausüben, ungefähr nur halb so gross (vergl. Art. 56). Weitern Aufschluss über das Messen elektrischer Quantitäten findet man in der 21. und 22. Vorlesung.

III. VORLESUNG: *Elektrisierung durch Influenz.*

22. Influenz. Wir haben bisher gesehen, wie 2 geladene Körper sich anziehen oder abstossen können. Man hat bisweilen gesagt, dass es die in den Körpern vorhandenen Elektrizitäten seien, welche sich anziehen oder abstossen; doch da die Elektrizität bekanntlich nur in oder an materiellen Dingen existiert, so ist der Beweis, dass die Elektrizitäten selbst sich gegenseitig anziehen, nur ein indirekter. Trotzdem wird diese Ansicht von

gewissen Umständen unterstützt, unter andern von dem elektrischen Einflusse, welchen ein elektrisierter Körper auf einen nicht elektrisierten ausübt.

Angenommen, man mache die Kugel C (Fig. 16) positiv elektrisch und nähere sie dann einem unelektrischen Körper; was wird geschehen? Man nehme zu diesem Versuche den in Fig. 16 dargestellten Apparat, welcher aus einer langen, walzen-

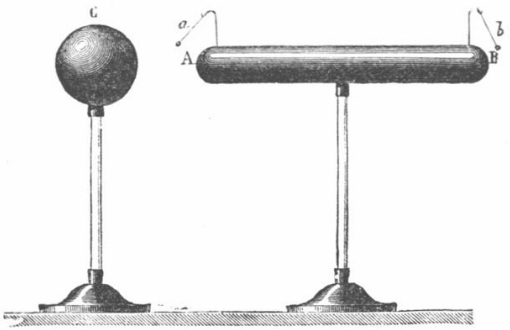

Fig. 16.

förmigen Metallröhre besteht, die hohl oder solid sein kann und auf einer gläsernen Stütze ruht. Dieser Konduktor (so genannt, weil er aus Metall besteht, welches der Elektrizität einen freien Durchgang durch sein Inneres oder über seine Oberfläche gestattet) ruht auf einer gläsernen Stütze, um das Entweichen der Elektrizität in den Erdboden zu verhüten; Glas gehört zu den Nicht-Leitern. Nun ergibt sich, dass die + Elektrizität der diesem Konduktor genäherten Kugel auf demselben Elektrizität *induziert*, und dass derselbe, obgleich er nicht gerieben wurde, an seinen beiden Enden sich wie ein elektrisierter Körper verhält. Die Enden des Konduktors ziehen kleine Papierstücke an, und Hollundermarkkugeln, welche man an die Enden des Konduktors anhängt, werden abgestossen. Dagegen findet man, dass der mittlere Teil des länglichen Konduktors keine Spur von Elektrizität zeigt. Eine weitere Untersuchung lässt ferner erkennen, dass die beiden Elektrizitäten an den Enden des Konduktors von entgegen-

gesetzter Art sind, und zwar befindet sich auf dem der + elektrisierten Glaskugel zugekehrten Ende A eine negative Ladung, und auf dem entgegengesetzten Ende B eine ebenso grosse positive Ladung. Daraus geht hervor, dass eine + Ladung negative Elektrizität anzieht und + abstösst, und dass diese Einwirkung auch noch in einer gewissen Entfernung von dem Körper statt hat. Wenn man mit einer — Ladung auf einem Stücke Siegellack begonnen hätte, so würde dieselbe auf dem genäherten Ende des Konduktors A positive, auf dem entgegengesetzten Ende B negative Elektrizität induziert haben. Diese Einwirkung, welche von John Canton im Jahre 1753 entdeckt wurde, heisst elektrische **Induktion** oder *Influenz*. Dieselbe findet noch bei einer beträchtlichen Entfernung statt. Selbst wenn man eine grosse Glasscheibe dazwischen stellt, hat man noch dieselbe Wirkung. Wird aber der elektrisierte Körper entfernt, so verschwinden beide Ladungen und lassen keine Spur zurück, und die Glaskugel enthält genau so viel Elektrizität wie vorher; sie hat nichts von ihrer eigenen Ladung verloren. Man wird sich erinnern, dass man nach der einen Theorie einen + geladenen Körper auffasst als einen solchen, der *mehr* Elektrizität als die Gegenstände in seiner Umgebung hat, während man einen — geladenen als einen Körper auffasst, der *weniger* Elektrizität enthält. Nach dieser Auffassungsweise muss man sagen: Wenn ein Körper, der, wie z. B. die + elektrisierte Glaskugel, mehr Elektrizität enthält, als die Gegenstände seiner Umgebung, in die Nähe eines isolierten Konduktors gebracht wird, so wird die gleichförmige Verteilung der Elektrizität auf jenem Konduktor gestört, indem die Elektrizität von dem dem + Körper nahen Ende wegfliessst, so dass dort weniger als für gewöhnlich zurückbleibt, während an dem andern Ende mehr als für gewöhnlich angesammelt wird. Diese Anschauungsweise erklärt das Verschwinden jeder Spur der Elektrizität in dem Augenblicke, wo der elektrisierte Körper entfernt wird, ohne weiteres, denn der Konduktor kehrt dann in seinen frühern Zustand zurück und zeigt weder +, noch — Elektrizität, indem er weder mehr, noch weniger elektrisch ist, als alle übrigen Gegen-

stände in seiner Umgebung. Diese Wirkung ist jedoch nicht eine blosse Wirkung in die Ferne, denn das umgebende Medium spielt dabei eine wesentliche Rolle. Man bedenke, welchen Einfluss ein + elektrisierter Körper A (Fig. 17) auf eine ihm genäherte, isolierte, unelektrische Metallkugel B ausübt. Einige der elektrischen Kraftlinien des den Körper A umgebenden Feldes gehen durch B hindurch; sie treten auf der dem A genäherten Seite ein und auf der entgegengesetzten wieder aus. Da die Kugel B keine eigene Ladung von Haus aus besitzt, so treten auf der einen Seite ebensoviel Kraftlinien in B ein, als auf der andern Seite austreten, oder mit andern Worten, die induzierte — Ladung auf der einen Seite ist ebenso gross, wie die induzierte + Ladung auf der andern Seite. Jedoch sind diese Ladungen nicht ganz gleichmässig verteilt; die — Ladung auf der dem A genäherten Seite ist mehr konzentriert und die Kraftlinien liegen hier dichter an einander.

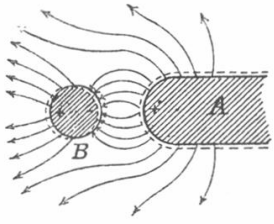

Fig. 17.

23. Wirkungen der Influenz. Wenn der Konduktor aus 2 Teilen zusammengesetzt ist, der Art, dass dieselben getrennt werden können, noch während der elektrisierte Körper seinen induzierenden Einfluss ausübt, so können die beiden Ladungen nach der Entfernung des elektrisierten Körpers sich nicht mehr vereinigen, sondern jede bleibt auf ihrem respektiven Teile des Konduktors zurück.

Wenn der Konduktor nicht durch Glasstützen isoliert, sondern mit dem Erdboden in Berührung gebracht wird, so wird nur das dem elektrisierten Körper zugekehrte Ende elektrisiert. Die abgestossene Ladung wird in der That so weit wie möglich abgestossen — bis in die Erde. Unter diesen Umständen erhält man nur eine Art von Elektrizität, nämlich die entgegengesetzte Art von der des elektrisierten Körpers, gleich viel, welcher Art diese letztere sei. Man hat in diesem Falle dieselbe Wirkung,

als ob ein elektrisierter Körper die Kraft besässe, die entgegengesetzte Art der Elektrizität aus der Erde an sich zu ziehen.

Die Grösse der beiden Ladungen, welche auf diese Weise auf einem Konduktor durch Influenz einer in der Nähe befindlichen elektrischen Ladung getrennt werden, hängt von der Grösse dieser Ladung und von der Entfernung des geladenen Körpers vom Konduktor ab. Je stärker der Glasstab elektrisiert und je näher er dem Konduktor gebracht wird, desto grösser ist seine induzierende Kraft. Höchstens aber kann der + Glasstab auf dem genäherten Ende des Konduktors eine negative Ladung induzieren, welche, abgesehen vom Vorzeichen, seiner eigenen Ladung gleich ist, und auf dem entfernten Ende dann eine gleiche Menge von + Elektrizität. Ehe jedoch der elektrisierte Körper so nahe gebracht wird, dass er diese Wirkung hat, tritt gewöhnlich eine andre Erscheinung ein, welche die Sachlage völlig ändert. Wenn nämlich der elektrisierte Körper mehr und mehr dem Konduktor genähert wird, so ziehen sich die entgegengesetzten Ladungen an den beiden sich gegenüberliegenden Oberflächen immer stärker an und sammeln sich hier immer dichter an, bis zuletzt, wenn der elektrisierte Körper sehr nahe gebracht ist, ein Funke überspringt und die beiden Ladungen auf diese Weise sich vereinigen und neutralisieren, während die induzierte + Ladung, welche vorher bis an das andre Ende des Konduktors abgestossen wurde, jetzt als permanente Ladung zurückbleibt, auch nachdem man den elektrisierten Körper entfernt hat. Fig. 18 veranschaulicht den Vorgang, welchen wir beobachten können, wenn wir eine + elektrisierte Metallkugel allmählich auf einen Tisch niederfallen lassen. Je mehr sich die Kugel dem Tische nähert, um so mehr verdichtet sich das sie umgebende elektrische Feld in dem zwischen Kugel und Tischplatte befindlichen Raume; und letztere wird

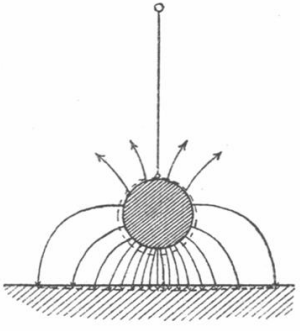

Fig. 18.

durch Influenz elektrisch. Da, wo die elektrischen Linien am dichtesten sind, ist die Spannung des Mediums am grössten, bis die Kugel sich dem Tische so weit genähert hat, dass der mechanische Widerstand der Luft schwächer ist als die elektrische Spannung. In diesem Augenblicke wird die Luftschicht von einem elektrischen Funken durchbohrt. Besteht das umgebende Medium nicht aus Luft, sondern aus Oel, so wird dasselbe erst bei einer viel stärkern Spannung durchbohrt.

24. Anziehung als Folge der Influenz. Wir können jetzt mit Hülfe des Prinzips der Influenz erklären, weshalb ein elektrisierter Körper unelektrische Gegenstände anzieht. In Fig. 17 (auf Seite 27) sei B eine kleine, an einem seidenen Faden aufgehängte Metallkugel, welche dem einen Ende eines geriebenen Glasstabes A genähert wird. Die + Ladung des A induziert dann eine — Ladung auf der zugewandten Seite, und eine gleiche $\dot{+}$ Ladung auf der entgegengesetzten Seite der Kugel. Die nähere Hälfte der Kugel wird deshalb angezogen, und die entfernte Hälfte abgestossen; aber die Anziehung überwiegt die Abstossung, weil die angezogene Ladung näher als die abgestossene ist. Deshalb wird die Kugel unter dem Einfluss beider Kräfte angezogen. Man kann sich leicht davon überzeugen, dass eine Kugel aus nicht-leitendem Stoffe, wie z. B. aus Schellack, nicht so stark angezogen wird, wie eine Kugel aus einem leitenden Stoffe. Dies *beweist* an sich, dass die Influenz in der That der Anziehung vorausgeht. In anderer Weise lässt sich dieser Satz wie folgt aussprechen: Die Spannung längs des elektrischen Feldes rechts von B ist grösser als die zur linken, und zwar infolge der stärkern Verdichtung der elektrischen Kraftlinien auf der rechten Seite von B.

25. Dielektrische Kraft. Wir haben wiederholt darauf hingewiesen, welche Rolle das umgebende Medium bei diesen Wirkungen in die Ferne spielt. Die Luft, das Oel, Glas oder andere als Medien benutzte Körper wirken nicht bloss als Isolatoren; sie sind auch bei der Ausbreitung der elektrischen Kräfte beteiligt. Deshalb nannte Faraday, welcher diese Thatsache ent-

deckte, solche Körper *dielektrisch*. Hätte man einen andern Körper als Medium benutzt, z. B. Oel, festen Schwefel oder Glas, so hätte der im gleichen Abstande befindliche, elektrisierte Körper eine stärkere Influenz ausgeübt. Die Fähigkeit eines nicht leitenden Körpers, die Influenz eines elektrisierten Körpers durch sich hindurch wirken zu lassen, heisst seine *dielektrische Kraft*. (Früher nannte man dieselbe seine spezifische Induktions-Kapazität; vergl. Art. 56 und die 23. Vorlesung.)

26. Der Elektrophor. Wir sind jetzt im Stande, die Wirkungsweise eines einfachen und sinnreichen Apparates auseinanderzusetzen, welcher von Volta im Jahre 1775 erfunden wurde, in der Absicht, mit Hülfe des Prinzips der Influenz eine unbegrenzte Anzahl elektrischer Ladungen aus einer einzigen Ladung zu gewinnen. Dieser Apparat ist der **Elektrophor** [1]). Er besteht aus 2 Teilen, einem runden Harzkuchen von circa 30 bis 40 cm Durchmesser, der in eine Form von Metall gegossen ist, und einer runden Scheibe von etwas kleinerem Durchmesser, welche aus Metall oder mit Stanniol überzogenem Holz besteht und mit einem Glasgriff versehen ist. Zur Herstellung des Kuchens kann man Schellack oder Siegellack, oder auch eine Mischung von Harz, Schellack und venetianischem Terpentin nehmen. Eine Platte aus Schwefel thut dieselben Dienste, ist jedoch leicht zerbrechlich. Eine Scheibe von Hartgummi eignet sich vorzüglich zu diesem Zwecke; doch muss man sie von Zeit zu Zeit mit Ammoniak waschen und mit Paraffinöl abreiben, weil der darin enthaltene Schwefel leicht oxidiert und dann Feuchtigkeit anzieht. Beim Gebrauche des Elektrophors muss man den Harzkuchen mit einem warmen Wolltuche oder, was noch besser ist, mit einem Katzenfell peitschen oder reiben. Darauf stellt man die Scheibe oder den Deckel auf den Kuchen, und berührt erstere einen Augenblick mit dem Finger. Hebt man jetzt den Deckel an dem

1) Volta's Elektrophor erschien im Jahre 1775. Das Prinzip wurde schon früher von Wilcke aufgestellt, welcher im Jahre 1762 in der Schwedischen Akademie der Wissenschaften zwei durch Influenz wirkende »Ladungs-Maschinen« beschrieb.

gläsernen Handgriffe ab, so findet man, dass derselbe stark + elektrisch geworden ist, derart, dass er einen Funken gibt, wenn man ihm den Knöchel der Hand nähert. Hierauf kann man den Deckel wieder auflegen, berühren und wieder abheben und auf diese Weise eine beliebige Anzahl von Funken erhalten, ohne dass die ursprüngliche Ladung des Harzkuchens dadurch merklich vermindert wird.

Die Theorie des Elektrophors ist höchst einfach zu verstehen, falls der Leser nur das oben erklärte Prinzip der Influenz recht verstanden hat. Wenn man zunächst den Harzkuchen mit einem Katzenfell peitscht, so wird seine Oberfläche negativ elektrisch, wie es in Fig. 19 angedeutet ist. Setzt man dann den Metalldeckel darauf, so berührt derselbe in Wirklichkeit (wegen der immer vorhandenen kleinen Unebenheiten) den Kuchen nur in

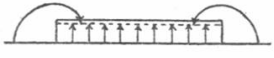

Fig. 19

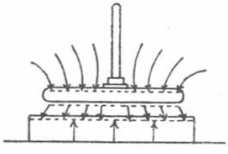

Fig. 20.

3 bis 4 Punkten und kann daher als ein isolierter Konduktor in der Nähe eines elektrischen Körpers betrachtet werden. Die — Elektrizität des Kuchens wirkt daher mittels Influenz auf den Metalldeckel, indem sie eine + Ladung auf seine untere Seite hinzieht, und eine negative Ladung nach seiner obern Seite hin abstösst. Diesen Zustand zeigt Fig. 20. Wenn man hierauf den Deckel einen Augenblick mit dem Finger berührt, so wird die — Ladung auf der obern Seite des Deckels von der aus der Erde durch die Hand und den Körper des Experimentierenden zuströmenden Elektrizität neutralisiert. Die angezogene + Ladung bleibt jedoch am Deckel haften, da dieselbe durch die Anziehung der — Ladung des Kuchens gewissermassen gebunden wird. Fig. 21 zeigt die Anordnung, nachdem man den Deckel berührt hat. Wenn man nun zuletzt noch den Deckel mittelst seines Hand-

griffes abhebt, so wird die zurückgebliebene + Ladung nicht länger auf der untern Seite durch Anziehung gebunden, sondern verteilt sich auf beiden Seiten des Deckels und kann dann, wie schon gesagt wurde, dazu dienen, einen Funken zu liefern. Es ist klar, dass kein Teil der anfänglichen Ladung des Harzkuchens bei diesem Versuche verbraucht wurde, und deshalb kann man den-

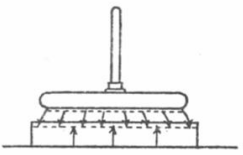

Fig. 21.

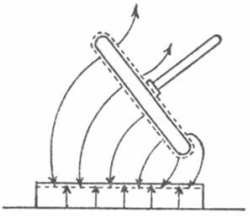

Fig. 22.

selben so oft wiederholen, wie man will. Thatsächlich verschwindet allerdings die Ladung des Kuchens nach und nach, zumal wenn die Luft feucht ist. Deshalb muss man von Zeit zu Zeit die ursprüngliche Ladung erneuern, indem man den Kuchen von Neuem mit dem Katzenfell peitscht. Die Mühe, den Deckel bei jedem Versuche mit dem Finger zu berühren, kann man sich dadurch sparen, dass man die Metallform, in welche der Harzkuchen gegossen ist, mit einem Messingstift oder einem Stanniolstreifen versieht, welcher bis auf die obere Seite des Kuchens reicht, so dass ersterer jedesmal den Deckel berührt und auf diese Weise die negative Ladung desselben durch Zuströmen der Elektrizität aus dem Erdboden neutralisiert. Das Prinzip, auf welchem der Elektrophor beruht, lässt sich demnach in folgender Weise aussprechen: *Wenn ein Konduktor berührt wird, so lange ein geladener Körper auf ihn durch Influenz wirkt, so erhält ersterer eine Ladung von entgegengesetzter Art* [1]).

1) Priestley sprach 1767 diesen Satz in folgender Weise aus: Wenn ein Körper A einen Ueberschuss des elektrischen Fluidums hat, so stösst dasselbe das elektrische Fluidum jedes andern Körpers B ab, der sich innerhalb der Influenzsphäre von A befindet, und treibt es in die entfernteren Teile des Körpers B oder ganz aus demselben heraus, falls ein Ableitungsweg vorhanden

Da man die Elektrizität, welche der Elektrophor auf diese Weise liefert, nicht auf Kosten eines Teils der ursprünglichen Ladung erhält, so ist es von Interesse, die Quelle aufzusuchen, aus welcher hier fort und fort Energie geschöpft werden kann. Denn dieselbe kann nicht ohne den Aufwand einer andern Energie ins Leben gerufen werden, ebensowenig wie eine Dampfmaschine ohne Brennmaterial arbeiten kann. Thatsächlich findet man nun, dass es eine etwas grössere Arbeit ist, den Deckel aufzuheben, wenn er geladen ist, als wenn er nicht geladen ist; denn im ersteren Falle muss man ausser der Schwere auch noch die Spannung des elektrischen Feldes überwinden. Es wird also durch die Muskelkraft des Experimentierenden bei dem Abheben des Deckels eine Arbeit geleistet, die etwas grösser ist, als diejenige, welche bei dem Auflegen gewonnen werden könnte, und das ist die wahre Quelle der in den einzelnen Ladungen angesammelten Energie.

Die rein mechanische Arbeit, den Deckel mit dem Kuchen in Berührung zu bringen und dann wieder abzuheben, kann maschinenmässig durch geeignete mechanische Vorrichtungen verrichtet werden, welche dann die Erregung dieser Induktions-Ladungen kontinuierlich machen. Das neueste dieser **kontinuierlichen Elektrophore** ist die in der 5. Vorlesung beschriebene Maschine von Wimshurst.

27. Freie und gebundene Elektrizität. Wir haben eine elektrische Ladung auf der Oberfläche eines Konduktors als gebunden bezeichnet, falls dieselbe von einer in der Nähe befindlichen Ladung entgegengesetzter Art angezogen wird. Den umgekehrten Ausdruck »*freie* Elektrizität« gebraucht man bisweilen von dem gewöhnlichen Zustande der Elektrizität auf einem geladenen Konduktor, der sich nicht in der Nähe einer Ladung entgegengesetzter Art befindet. Eine *freie* Ladung auf einem isolierenden Konduktor entweicht sofort in die Erde, wenn

ist. Mit andern Worten: Körper, welche sich innerhalb einer elektrischen Atmosphäre befinden, nehmen stets eine Elektrizität an, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die dieser Atmosphäre entspricht.

eine leitende Verbindung hergestellt wird, wie wir in der nächsten Vorlesung erklären werden. Es ist dabei unwesentlich, welcher Punkt des Konduktors berührt wird. Für den in Fig. 14 dargestellten Fall z. B., wo ein + elektrischer Körper — Elektrizität auf dem zugekehrten, und + Elektrizität auf dem abgekehrten Ende eines isolierten Konduktors induziert, ist die — Ladung gebunden, da sie angezogen wird, während die + Ladung am andern Ende frei ist, da sie abgestossen wird; und wenn der isolierte Konduktor von einem auf dem Erdboden Stehenden berührt wird, so entweicht die freie Elektrizität durch seinen Körper in die Erde oder in die Wände des Zimmers, während die gebundene Elektrizität zurückbleibt, gleichviel, ob der Experimentierende den Konduktor an diesem oder jenem Ende oder in der Mitte berührt.

28. Methode, das Goldblattelektroskop durch Influenz zu laden. Der Leser wird jetzt in der Lage sein, die Methode zu verstehen, nach welcher ein Goldblattelektroskop mit derjenigen Elektrizität geladen werden kann, welche der zu seiner Ladung benutzten entgegengesetzt ist. In der zweiten Vorlesung haben wir angenommen, dass ein Elektroskop auf die Weise geladen wurde, dass man den Knopf mit dem elektrisierten Körper berührte und so gleichsam einen geringen Teil der Ladung in die Goldblätter strömen liess. Ein mit Seide geriebener Glasstab, der also + elektrisch ist, würde den Goldblättern auf diese Weise offenbar + Elektrizität mitteilen.

Nehmen wir jedoch an, dass der geriebene Glasstab einige Zentimeter hoch über den Knopf des Elektroskopes gehalten wird, wie es Fig. 10 wirklich zeigt. Auch bei dieser Entfernung divergieren die Goldblätter; und diese Wirkung ist eine Folge der Influenz. Die Goldblätter, der Messingdraht und der Knopf bilden einen zusammenhängenden Leiter, der durch die Glasflasche vom Boden isoliert ist. Die Nähe der + Elektrizität des Glasstabes wirkt infolge der Influenz auf diesen isolierten Konduktor, und induziert — Elektrizität auf dem nahen Ende, d. h. dem Knopfe und + Elektrizität auf dem fernen Ende, d. h.

auf den Goldblättern, welche divergieren. Von diesen beiden induzierten Ladungen ist die — auf dem Knopfe gebunden, während die + auf den Blättern frei ist. Wenn jetzt, noch während der elektrisierte Glasstab über dem Elektroskope gehalten wird, ein auf dem Erdboden Stehender den Knopf berührt, strömt die eine dieser beiden induzierten Ladungen in den Boden, und zwar die freie Ladung — nicht die des Knopfes selbst, denn diese war gebunden, sondern jene auf den Goldblättern, welche frei war — und die Goldblätter fallen sofort zusammen. Es bleibt nur die — Ladung auf dem Knopfe zurück, welche solange gebunden ist, wie die + Ladung des Glasstabes in der Nähe ist und sie anzieht. Wenn jedoch nun der Glasstab schnell weggezogen wird, so ist die — Ladung auf dem Knopfe nicht mehr gebunden, sondern frei, und strömt folglich zum Teil auch in die Blätter, welche dann wieder divergieren, diesmal jedoch infolge ihrer — Elektrizität.

29. **Der Rückschlag.** Wenn ein geladener Konduktor plötzlich entladen wird, so hat man oft beobachtet, dass in der Nähe befindliche Personen eine Endladung spüren, welche sogar auf Elektroskope wirken oder Funken geben kann. Diese unter dem Namen *Rückschlag* bekannte Erscheinung ist eine Folge der Influenz. Denn durch das Vorhandensein eines geladenen Konduktors wird in benachbarten Körpern eine Ladung entgegengesetzter Art induziert, und bei der Entladung des Konduktors können diese benachbarten Körper ihre induzierte Ladung ebenfalls plötzlich in die Erde oder in andere leitende Körper entladen. Einen Rückschlag fühlen oft auf dem Erdboden stehende Personen in dem Augenblicke, wo ein Blitzstrahl einen in ihrer Nähe befindlichen Gegenstand getroffen hat.

IV. VORLESUNG: *Leitung und Verteilung der Elektrizität.*

30. **Leitung.** Am Ende der ersten Vorlesung setzten wir auseinander, dass gewisse Körper, z. B. die Metalle, die Elektrizität leiten, während andere zu den Nichtleitern oder Isolatoren gehören. Diese Entdeckung verdanken wir Stephen Gray,

welcher im Jahre 1729 fand, dass ein Kork, der in das eine Ende einer geriebenen Glasröhre gesteckt wurde, ja sogar ein in diesen Kork gestecktes Stück Holz, leichte Körper anzogen. Ebenso fand er, dass Metalldraht und Bindfaden die Elektrizität leiteten, Seide dagegen nicht.

Wir können diese Versuche wiederholen mit einem Glasstabe (Fig 23), welcher mit einem Korke oder einem Stück

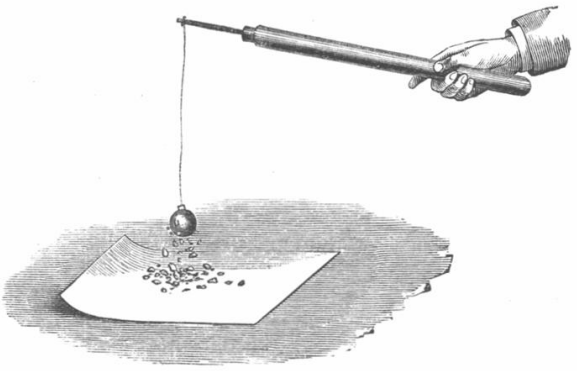

Fig. 23.

Holz versehen ist. Hängt man an das Ende desselben eine Metallkugel oder einen Messingknopf mittelst eines leinenen Fadens oder eines Drahtes, so findet man, dass die Kugel die Eigenschaft erhält, leichte Körper anzuziehen, nachdem der Glasstab gerieben wurde. Nimmt man jedoch einen trockenen seidenen Faden, so strömt keine Elektrizität in die Kugel hinab.

Es gelang Gray sogar, eine elektrische Ladung durch einen von seidenen Oesen getragenen Hanffaden über 700 Fuss weit zu leiten. Etwas später gelang es Du Fay, die Elektrizität durch einen angefeuchteten Faden keine geringere Strecke als 1256 Fuss weit zu leiten, und so die Leitungsfähigkeit von Feuchtigkeit zu beweisen. Seit jener Zeit datiert die Einleitung der Körper in *Leiter* und *Nichtleiter*.

Diese Einteilung kann man jedoch nicht völlig aufrecht erhalten, da eine grosse Klasse von Stoffen als teilweise Leiter eine Zwischenstellung einnehmen. Trockenes Holz ist z. B. ein schlechter Leiter und auch ein schlechter Nichtleiter; es leitet gut genug, um die durch Reibung erregte Elektrizität hoher Spannung durchzulassen, aber es ist ein schlechter Leiter für die von kleinen Voltaischen Batterieen herrührende Elektrizität von verhältnismässig geringer Spannung. Von Körpern, welche sehr schlechte Leiter sind, sagt man, dass sie der durch sie strömenden Elektrizität einen grossen **Widerstand** bieten. In der That giebt es keinen so guten Leiter, dass er überhaupt keinen Widerstand böte, und umgekehrt giebt es keinen Körper mit so grossem Widerstande, dass er nicht noch ein wenig leitete. Sogar Silber, welches von allen bekannten Körpern am besten leitet, bietet der strömenden Elektrizität im geringen Grade noch Widerstand, und andererseits gestattet ein Nichtleiter, wie z. B. Glas, obschon sein Widerstand viele Millionen mal grösser ist, als der eines beliebigen Metalls, dennoch einer sehr kleinen Menge von Elektrizität den Durchgang. In der folgenden Tabelle sind die aufgezählten Körper so geordnet, dass jeder vorhergehende besser als der nachfolgende leitet:

Silber	Gute Leiter.
Kupfer	
Andere Metalle . .	
Holzkohle	
Wasser	
Der menschl. Körper	Teilweise Leiter.
Baumwolle	
Trockenes Holz . .	
Marmor	
Papier	

Oele	Nichtleiter.
Porzellan	
Wolle	
Seide	
Harz	
Guttapercha . . .	
Schellack	
Ebenholz	
Paraffin	
Glas	
Quarz (geschmolzen) .	
Luft	

Eine einfache Methode, um durch den Versuch zu erkennen, ob ein Körper ein Leiter ist oder nicht, besteht darin, dass man den zu prüfenden Körper in die Hand nimmt und den Knopf eines geladenen Goldblattelektroskopes mit demselben berührt. Ist der Körper ein Leiter, so entweicht die Elektrizität durch ihn und durch den Körper des Experimentierenden in die Erde, und das Elektroskop ist alsdann entladen. Durch gute Leiter strömt die Elektrizität so schnell, dass die Entladung thatsächlich momentan statt findet. Weiteres über diese Frage findet man in der 33. Vorlesung.

31. Verteilung der Elektrizität auf den Körpern. Wenn man an einer Stelle eines Nichtleiters Elektrizität erregt, so bleibt dieselbe an dieser Stelle, und verbreitet sich nicht über die ganze Oberfläche oder doch jedenfalls nur äusserst langsam. Wenn z. B. ein Glasstab an seinem einen Ende gerieben wird, so wird nur dieses Ende elektrisch. Erwärmtes Glas ist jedoch ein Leiter. Wenn ein warmer Harzkuchen an einer Stelle mit einem Tuchlappen gerieben wird, so zieht nur diese Stelle leichte Körper an wie man dadurch nachweisen kann, dass man mit Hilfe eines Musselins feines Pulver darauf siebt, wie z. B. Mennige, Bärlappsamen, oder Grünspan, welche an den elektrisierten Stellen der Oberfläche haften bleiben. Die Sache ist jedoch ganz anders, wenn man irgend einem Teile eines isolierten Leiters eine elek-

trische Ladung mitteilt, denn letztere verbreitet sich *sofort* über die ganze Oberfläche, jedoch im allgemeinen nicht gleichmässig über alle Punkte derselben.

32. Die Ladung hat ihren Sitz auf der Oberfläche. Eine elektrische Ladung hat ihren Sitz nur auf der Oberfläche eines Leiters. Ein Beweis hierfür ist der Umstand, dass es für die Verteilung gleichgültig ist, woraus das Innere eines Leiters besteht; der Leiter kann festes Metall sein oder hohl oder selbst aus mit Stanniol oder Blattgold überzogenem Holz bestehen: voraus-

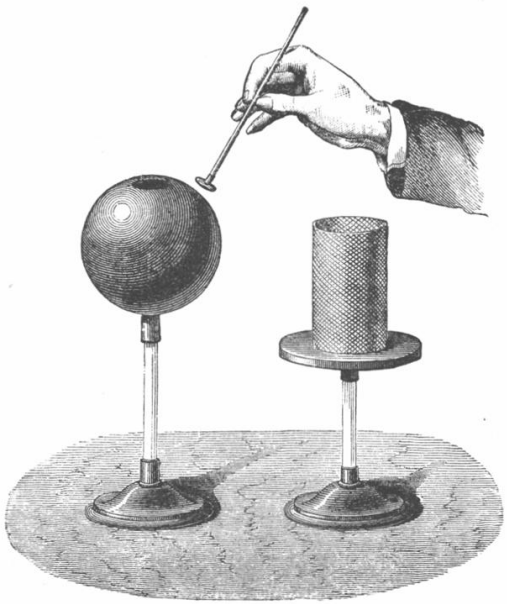

Fig. 24.

gesetzt, dass die Gestalt die nämliche ist, verteilt sich in allen Fällen die Ladung in genau derselben Weise über die Oberfläche. Es giebt auch mehrere Methoden, um diese wichtige Thatsache durch den Versuch zu beweisen. Man lege eine hohle Metallkugel (Fig. 24), welche oben eine Oeffnung hat, auf eine isolierende

Stütze und lade erstere, indem man ein paar Funken von einem Elektrophor auf sie überspringen lässt. Dass sich im Innern der Kugel dann keine Ladung befindet, kann man auf folgende Weise zeigen: Um die Art der Elektrizität eines geladenen Körpers zu erkennen, ist es zweckmässig, ein Mittel zu haben, einen kleinen Teil der Ladung absondern und dann prüfen zu können. Um solch eine Probe zu erhalten, gebraucht man einen als **Probe-Platte** bekannten Apparat. Derselbe besteht aus einer kleinen Scheibe von Kupferblech oder Goldpapier, welche an das eine Ende eines dünnen Glasstabes befestigt ist. Legt man diese Scheibe an irgend einer Stelle auf die Oberfläche eines elektrischen Körpers, so strömt ein Teil der Ladung in dieselbe; man kann sie dann wegnehmen und die so erhaltene Probe mit einem Goldblattelektroskop in der gewöhnlichen Weise prüfen. Für manchen Zweck eignet sich ein an einem Glasstab befestigtes Metallkügelchen besser, als eine flache Scheibe. Wenn eine solche Probeplatte an die äussere Seite unserer elektrisierten Hohlkugel gehalten und dann mit dem Knopfe eines Elektroskopes in Berührung gebracht wird, so divergieren die Goldblätter, zeigen also das Vorhandensein einer Ladung an. Wenn man jedoch die Probeplatte vorsichtig durch die Oeffnung führt, die *innere Seite* der Kugel mit ihr berührt, und sie dann abhebt, so findet man, dass die innere Seite nicht elektrisch ist. Eine elektrisierte Zinnkanne zeigt ein ähnliches Resultat; desgleichen auch ein Cylinder von Drahtgeflecht.

33. Biot's Versuch. Biot bewies dieselbe Thatsache auf anderm Wege. Eine Kupferkugel wurde elektrisiert und isoliert. Zwei hohle Halbkugeln von Kupfer, welche einen etwas grösseren Durchmesser hatten und mit gläsernen Handgriffen versehen waren, wurden dann von aussen über die Kugel gedeckt (Fig. 25). So lange sie nicht mit ihr in Berührung kamen, blieb die Ladung auf der innern Kugel; wenn jedoch die äussere Hülle die innere Kugel auch nur einen Augenblick berührte, strömte die gesamte Ladung nach aussen, und wenn dann die Halbkugeln wieder getrennt und abgehoben wurden, so ergab sich, dass die innere Kugel jetzt vollständig entladen war.

34. Weitere Erklärung. Ohne Zweifel ist die Erklärung für dies Verhalten der Elektrizität in der früher erwähnten Eigenschaft zu suchen, welche beide Arten der Elektrizität gleichmässig besitzen, dass nämlich jede sich selbst abstösst. Aus diesem

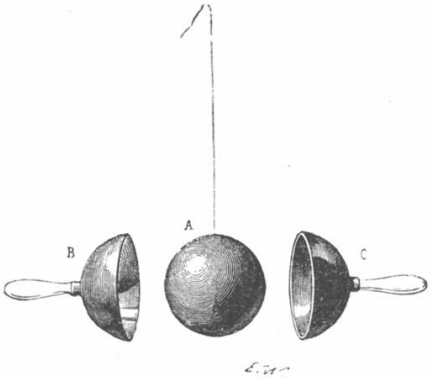

Fig. 25.

Grunde sucht sie so weit wie möglich vom Zentrum sich zu entfernen und bleibt auf der Oberfläche. Ein wichtiger Satz, des Inhalts, dass im Innern eines geschlossenen Leiters keine elektrische Kraft vorhanden ist, soll in der 21. Vorlesung bewiesen werden; einstweilen muss man beachten, dass die Beweise vorläufig nur das Nichtvorhandensein einer *freien* elektrischen Ladung im Innern hohler Leiter darthun sollen. Abgesehen von andern Versuchen zeigte Terquem, dass man ein Paar Goldblätter, welche innerhalb eines Drahtgeflechts aufgehängt waren, nicht zum divergieren bringen konnte, falls jenes elektrisiert wurde. Faraday verfertigte einen kegelförmigen Beutel aus Leinen-Gaze, der, wie in Fig. 26 von einer isolierenden Stütze getragen wurde und mit Seidenfäden versehen war, so dass seine innere Seite nach aussen gekehrt werden konnte. Derselbe wurde geladen und mit Hilfe der Probeplatte und des Elektroskops gezeigt, dass die Ladung sich auf der äussern Seite des Beutels befand. Dann wurde die innere Seite nach aussen gezogen, und es stellte sich heraus, dass die Elektrizität wieder auf der Seite war, welche jetzt die

äussere war. Einen höchst überraschenden Versuch stellte Faraday mit einem hohlen Würfel von 12 Fuss Kantenlänge an, der aus mit Stanniol überzogenem Holz verfertigt, isoliert, und durch eine

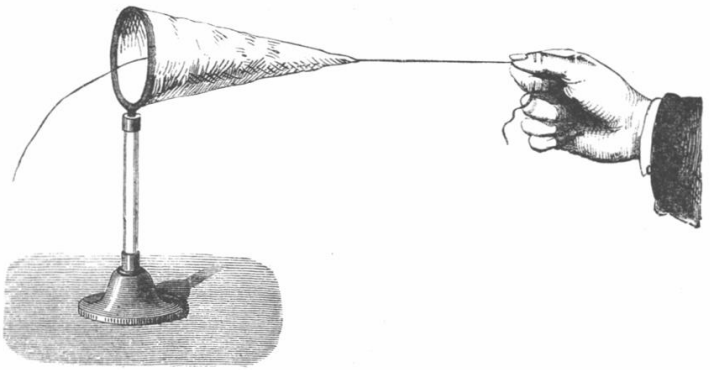

Fig. 26.

kräftige Maschine geladen war, so dass grosse Funken und Strahlenbüschel überall von seiner äussern Fläche hervorblitzten. In diesen Würfel stellte Faraday eines seiner empfindlichsten Elektroskope; doch konnte er, wenn dasselbe innerhalb des Würfels war, nicht den geringsten Einfluss auf dasselbe wahrnehmen.

35. Anwendungen. Man hat dies bei der Konstruktion empfindlicher Elektrometer und andrer Apparate benutzt, welche vor dem Einflusse elektrischer Körper dadurch wirksam geschützt werden können, dass man sie mit einem dünnen Metall-Futterale umgiebt, welches überall geschlossen ist, mit Ausnahme derjenigen Stellen, wo zum Zwecke der Beobachtung Oeffnungen angebracht werden müssen. Besonders Metall-Gaze eignet sich hierzu, welche fast durchsichtig ist. Der verstorbene Professor Maxwell hat auch den Vorschlag gemacht, Gebäude vor dem Blitz dadurch zu schützen, dass man ihre äussere Seite mit einem Netzwerk von Drähten überzieht.

36. Scheinbare Ausnahmen. Es giebt zwei scheinbare Ausnahmen von dem Gesetze, dass die Elektrizität sich nur auf der äussern Seite der Leiter befindet. 1) Wenn sich im Innern

des hohlen Leiters elektrische, isolierte Körper befinden, so wirken dieselben induzierend und ziehen die entgegengesetzte Art der Ladung nach der inneren Seite des hohlen Leiters. 2) Wenn die Elektrizität als ein elektrischer Strom fliesst, so fliesst sie durch die Substanz des Leiters. — Das Gesetz beschränkt sich also auf in Ruhe befindliche Elektrizität, d. h. auf *statische* Ladungen.

37. Faraday's Eis-Eimer-Versuch. Es verdient hier ein Versuch Faraday's Beachtung, welcher den Einfluss zeigt, den die Induktion bei diesen Naturerscheinungen ausübt. Faraday liess eine geladene Metallkugel langsam in einen hohlen Leiter hinab, der durch einen Draht mit einem Goldblatt-Elektroskop verbunden war (Fig. 27) und beobachtete den Erfolg. Da ein zinnerner Eiseimer zu diesem Zwecke sich gut eignet, so hat dieser Versuch darnach seinen Namen bekommen, obgleich jeder andre hohle Leiter, z. B. eine Zinnbüchse oder eine silberne Kanne, auf eine Glasstütze gestellt, natürlich ebenso zweckmässig sein würde. Man beobachtete nun die folgenden Erscheinungen: Nehmen wir an, die Kugel hätte eine + Ladung: wird dieselbe in den hohlen Konduktor hinabgelassen, so beginnen die Goldblätter zu divergieren, denn die Ladung wirkt induzierend und zieht eine — Ladung auf die innere Seite und stösst eine + Ladung nach der äussern Seite ab. Die Goldblätter divergieren mehr und mehr, bis die Kugel gerade mitten in dem hohlen Leiter ist; von diesem Augenblicke an findet keine grössere Divergenz mehr statt. Bringt man nun die Kugel mit der innern Seite des Eimers in Berührung, so divergieren die Goldblätter nach wie vor, und zieht man jetzt die Kugel heraus, so ergiebt sich, dass sie alle ihre Elektrizität verloren hat. Der Umstand, dass die Goldblätter nicht stärker divergieren, nachdem

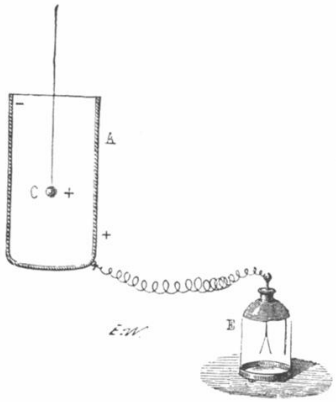

Fig. 27.

die Kugel die Innenseite berührte, als im Augenblicke vorher, beweist, dass, wenn die geladene Kugel gerade mitten in dem hohlen Leiter ist, jede der induzierten Ladungen genau ebenso gross ist, wie die Ladung der Kugel selbst; die innere — Ladung hebt genau in dem Augenblicke ihrer Berührung die Ladung der Kugel auf, während die ebenso grosse äussere Ladung unverändert bleibt. Ein *elektrischer »Käfig«*, wie z. B. dieser Eiseimer, giebt, wenn derselbe mit einem Elektroskope oder Elektrometer in Verbindung gebracht wird, ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand, um die Ladung irgend eines Körpers zu prüfen, welcher in das Innere des »Käfigs« hineinpasst. Denn ohne den geringsten Teil der Ladung des Körpers zu verbrauchen (was wir bei Anwendung der Methode mit der Probe-Platte nicht vermeiden können) können wir die auf die äussere Seite des Käfigs abgestossene, induzierte Ladung prüfen, und wir wissen, dass diese genau ebenso gross und von derselben Art ist, wie die des geladenen und in den Käfig eingesenkten Körpers. Wenn wir zwei gleiche Ladungen entgegengesetzter Art gleichzeitig in den Käfig bringen, so bemerken wir auf der äussern Seite keine Wirkung.

38. Verteilung der Ladung. Eine elektrische Ladung verteilt sich im allgemeinen nicht gleichförmig über die Oberfläche der Körper. Der Versuch zeigt, dass sich an den Kanten und Ecken der Körper mehr Elektrizität befindet, als an den flachen Stellen derselben. Diese Verteilung kann man aus der in der 21. Vorlesung dargethanen Theorie herleiten, vorläufig aber wollen wir einige der hauptsächlichsten Fälle angeben, deren wirkliches Vorhandensein gezeigt werden kann. Der Ausdruck **„elektrische Dichte"** wird gebraucht, um die Menge der Elektrizität an irgend einem Punkte einer Oberfläche zu bezeichnen: *die elektrische Dichte in einem Punkte ist gleich der Zahl der elektrischen Einheiten pro Flächeneinheit* (d. h. pro Quadrat-Zentimeter), wobei die Verteilung über diese kleine Fläche als gleichmässig vorausgesetzt wird.

a) **Kugel.** Die Verteilung einer Ladung auf einer isolierten Kugel von leitendem Material ist gleichförmig, vorausgesetzt, dass

sich in der Nähe der Kugel keine andern Leiter oder andre elektrische Körper befinden, dass die Kugel ebenfalls isoliert ist, d. h.: Die Dichte der Elektrizität ist in allen Punkten der ganzen Kugel dieselbe, sie ist gleichförmig. Dies wird veranschaulicht durch die punktierte Linie um die Kugel in Fig. 28, welche

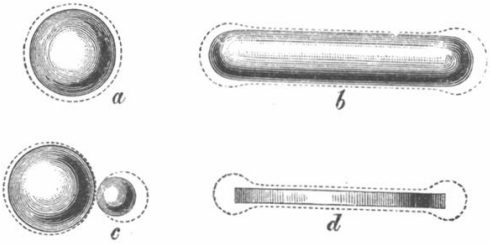

Fig. 28.

überall von der Kugel denselben Abstand hat, und eine gleiche Dicke der Ladung in allen Punkten der Oberfläche andeuten soll. Es muss in Erinnerung gebracht werden, dass die Ladung in Wirklichkeit überhaupt keine wahrnehmbare Dicke besitzt; sie haftet an oder auf der Oberfläche; aber man kann nicht sagen, dass sie eine Schicht auf derselben bildet.

b) **Cylinder mit abgerundeten Enden.** Auf einem verlängerten Leiter, wie derselbe häufig bei elektrischen Apparaten Anwendung findet, ist die Dichte am grössten an den Enden, wo die Krümmung der Oberfläche am stärksten ist.

c) **Zwei sich berührende Kugeln.** Wenn 2 sich berührende Kugeln isoliert und geladen werden, so ergiebt sich, dass die Dichte an denjenigen Stellen am grössten ist, welche am weitesten vom Berührungspunkte entfernt sind, am geringsten dagegen in der Spalte zwischen den Kugeln. Wenn die Kugeln verschieden gross sind, so ist die Dichte grösser auf der kleinern Kugel, deren Oberfläche stärker gekrümmt ist. Auf einem **eiförmigen** oder **birnenförmigen** Leiter ist die Dichte am grössten an dem schmalen Ende. Auf einem **Kegel** ist die Dichte an der Spitze am grössten; und wenn der Kegel in eine scharfe Spitze ausläuft, so ist hier die Dichte bei weitem

grösser, als in irgend einem andern Punkte. In einem Punkte kann die Dichte der angesammelten Elektrizität in der That so gross sein, dass die benachbarten Luftmoleküle elektrisiert und dann abgestossen werden, (vergl. Art. 47.) so dass auf diese Weise ein fortwährender Verlust der elektrischen Ladung statt findet. Deshalb müssen Spitzen und scharfe Kanten an elektrischen Apparaten stets vermieden werden, ausgenommen in dem Falle, wo eine Entladung besonders gewünscht wird.

d) **Flache Scheibe.** Die Dichte einer Ladung auf einer flachen Scheibe ist, wie wir erwarten konnten, an den Kanten grösser als auf den flachen Oberflächen; dagegen ist die Verteilung über die flachen Oberflächen nahezu gleichförmig.

Diese verschiedenen Thatsachen kann man bestätigen, indem man eine kleine Probeplatte hinter einander an verschiedene Stellen der elektrisierten Körper anhält und darauf die von der Probeplatte aufgenommene Menge der Elektrizität durch ein Elektroskop oder ein Elektrometer prüft. Coulomb, welcher mathematisch sowohl wie experimentell viele der wichtigsten Fälle der Verteilung untersuchte, gebrauchte die Torsionswage, um seine Rechnungen zu prüfen. Er untersuchte auf diese Weise den Fall des Umdrehungsellipsoides, und fand, dass die Dichte der Ladung in den Endpunkten der Achsen den Längen dieser Achsen proportional war. Er zeigte auch, dass die Dichte der Ladung in einem beliebigen andern Punkte der Oberfläche des Ellipsoids der Länge des Lothes proportional ist, welches man vom Zentrum auf die Tangentialebene jenes Punktes fällen kann. Auch Riess untersuchte verschiedene interessante Fälle der Verteilung. Er fand, dass die Dichte in den Mitten der Kanten eines Würfels fast $2\frac{1}{2}$ mal so gross war, als die Dichte in der Mitte einer Seitenfläche; während die Dichte in einer Ecke des Würfels mehr als vier mal so gross war.

39. Wiederverteilung der Ladung. Wenn ein Teil der Ladung eines isolierten Leiters weggenommen wird, so verteilt sich der Rest der Ladung sofort wieder in derselben Weise über die Oberfläche, wie die ursprüngliche Ladung, vorausgesetzt,

dass dieselbe ebenfalls *isoliert* ist, d. h. dass keine andern Leiter oder geladene Körper in der Nähe sind, welche durch komplizierte Influenzwirkungen die Verteilung stören könnten.

Wenn ein Leiter mit einer gewissen Menge Elektrizität geladen ist und ein anderer Leiter von derselben Grösse und Gestalt (doch ungeladen) einen Augenblick lang mit ihm in Berührung gebracht und dann wieder von ihm getrennt wird, so wird man finden, dass die Ladung sich gleichmässig auf beide verteilt hat. Auf dieselbe Weise kann eine Ladung in drei oder mehr gleiche Teile geteilt werden, indem sie gleichzeitig auf 3 oder mehr gleiche und ähnliche Leiter verteilt wird, welche zur Berührung gebracht und symmetrisch aufgestellt werden.

Wenn 2 gleiche Metallkugeln, welche an seidenen Schnüren aufgehängt und mit ungleichen Mengen von Elektrizität geladen sind, einen Moment lang mit einander in Berührung gebracht und dann wieder getrennt werden, so findet man, dass sich die Ladung gleichmässig verteilt hat, indem jetzt die Ladung jeder einzelnen Kugel gleich der halben Summe beider Ladungen ist. Dies lässt sich auch auf den Fall von Ladungen entgegengesetzter Art ausdehnen. Nehmen wir z. B. an, dass von 2 ähnlichen Leitern der eine mit einer + Ladung von 5 Einheiten, der andre mit 3 Einheiten negativer Elektrizität geladen wäre, so wird jeder nach gegenseitiger Berührung und Trennung eine + Ladung von einer Einheit haben; denn die algebraische Summe von + 5 und — 3 ist + 2, welche auf die beiden gleichen Leiter verteilt, für jeden + 1 bringt.

40. Kapazität der Leiter. Wenn die Leiter von ungleicher Grösse oder Gestalt sind, so sind die Mengen, welche die einzelnen Leiter bei dieser Wiederverteilung erhalten, nicht gleich, sondern proportional der elektrischen *Kapazität* der Leiter. Die Definition von **Kapazität** in ihrer Beziehung zu »elektrischer Menge« findet man in Art. 266, Vorlesung 21. Wir können jedoch schon hier bemerken, dass zwei isolierte Leiter von derselben Gestalt, aber von verschiedener Grösse, in Bezug auf ihre elektrische *Kapazität* sich von einander unterscheiden; denn dem

grösseren muss eine grössere elektrische Menge mitgeteilt werden, damit seine Oberfläche in demselben Grade elektrisch wird. Man gebraucht in diesem Zusammenhange den Ausdruck *Potential* in folgendem Sinne: Eine gegebene Elektrizitätsmenge elektrisiert einen isolierten Körper bis zu einem gewissen, von seiner Kapazität abhängigen Potentiale (oder bis zu einer gewissen Kraft, elektrische Arbeit zu verrichten). Wird eine grosse *Elektrizitätsmenge* einem Leiter von geringer *Kapazität* mitgeteilt, so wird derselbe bis auf ein sehr hohes *Potential* elektrisiert; gerade so wie eine grosse Wassermasse, welche in ein enges Gefäss gegossen wird, die Wasserfläche bis auf ein hohes Niveau im Gefässe bringt. Die genaue Definition des Potentials, ausgedrückt durch die gegen die elektrischen Kräfte verbrauchte Energie, findet man in der Vorlesung über Elektrostatik (Art. 258).

Es wird sich als zweckmässig herausstellen, einen + elektrischen Körper als einen solchen zu bezeichnen, der auf ein *positives oder hohes Potential* elektrisiert ist; während man einen — elektrischen Körper als einen solchen ansehen kann, der auf ein *niedriges oder negatives Potential* elektrisiert ist. Und gerade so wie wir von dem Meeresniveau als Null-Niveau ausgehen, und danach die Höhe der Berge und die Tiefe der Bergwerke messen, indem wir das Meeresniveau als einen bequemen Ausgangspunkt für Niveauunterschiede benutzen, ebenso nehmen wir das Potential der Erdoberfläche (denn die Erdoberfläche ist immer bis zu einem gewissen Grade elektrisch) als *Null-Potential* und benutzen dasselbe als einen bequemen Ausgangspunkt, von wo wir Unterschiede des elektrischen Potentials messen können.

V. VORLESUNG: *Elektrisiermaschinen.*

41. Um sich grössere Vorräte von Elektrizität zu verschaffen als diejenigen sind, welche man durch Reiben eines Stabes von Glas oder Schellack erhält, hat man **Elektrisiermaschinen** konstruiert. Jede Elektrisiermaschine besteht aus zwei Teilen, von denen der eine zum Erzeugen, der andre zum Ansammeln der

elektrischen Ladungen dient. Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Mengen positiver und negativer Elektrizität, welche durch Reiben an den Oberflächen der an einander geriebenen Körper erregt werden, von der Dauer des Reibens, der Grösse der geriebenen Oberflächen, und auch von der Natur der gebrauchten Körper abhängig sind. Wenn die beiden Körper, welche man an einander reibt, auf der in Art. 6 angegebenen elektrischen Liste nahe zusammen stehen, so ist die elektrische Wirkung ihrer gegenseitigen Reibung nicht so gross, als wenn man 2 in jener Reihe weit von einander getrennte Körper wählt. Um die grösstmögliche Wirkung zu erzielen, sollte man den am meisten + und den am meisten — Körper nehmen, die zur Konstruktion einer Maschine tauglich wären, und die grösste statthafte Oberfläche derselben der Reibung unterwerfen, indem man dafür sorgt, dass die beweglichen Teile einen hinreichenden mit der nötigen Geschwindigkeit vereinbaren Druck auf einander ausüben.

Die erste Form einer Elektrisiermaschine erfand Otto von Guericke in Magdeburg; dieselbe bestand aus einer an einer Spindel befestigten Schwefelkugel, welche mit der trockenen Handfläche während ihrer Rotation gerieben wurde. Mit dieser Vorrichtung entdeckte er die elektrischen Funken und die Abstossung gleichartig elektrisierter Körper. Isaac Newton ersetzte von Guericke's Schwefelkugel durch eine solche von Glas. Etwas später wurde die Form der Maschine durch verschiedene deutsche Elektriker verbessert; von Bose fügte einen Kollektor oder »Hauptkonduktor« hinzu, in Gestalt einer Eisenröhre, welche zum Zwecke der Isolierung von einer auf Harzkuchen stehenden Person getragen oder an seidenen Schnüren aufgehängt wurde; Winckler in Leipzig substituierte als Reibzeug statt der Hand ein ledernes Kissen; und Gordon in Erfurt gab der Maschine eine bequemere Konstruktion, indem er statt einer Glaskugel einen Glascylinder anwandte. Die Elektrizität wurde von dem elektrisierten Cylinder resp. der elektrisierten Kugel nach dem Hauptkonduktor längs einer Metallkette geführt, welche über die Kugel gehängt war. Ein mit Spitzen versehener Kollektor wurde erst nach Franklin's

berühmten Untersuchungen über die Wirkungsweise der Spitzen angewandt. Um das Jahr 1760 konstruierten De la Fond, Planta, Ramsden und Cuthbertson Maschinen mit Glasscheiben statt der Cylinder. Alle Reibungs-Elektrisiermaschinen sind jedoch heutzutage veraltet; dieselben sind in den letzten Jahren vollständig von den modernen Influenzmaschinen verdrängt.

42. Die Cylinder-Elektrisiermaschine. Dieselbe besteht aus einem an einer horizontalen Achse befestigten Glascylinder, welcher durch eine Handhabe gedreht werden kann. Gegen den Cylinder wird von hinten ein ledernes, mit Pferdehaaren ausgestopftes Kissen gedrückt, dessen Oberfläche mit einem gepulverten Zink- oder Zinnamalgam überzogen ist. Ein an dem Kissen befestigter seidener Lappen bedeckt die obere Hälfte des Cylinders. Vor dem Cylinder befindet sich der »Hauptkonduktor«,

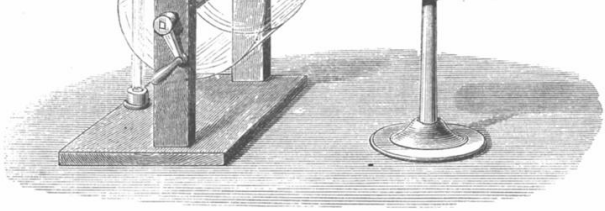

Fig. 29.

welcher aus Metall besteht, und gewöhnlich die Gestalt eines länglichen Cylinders mit halbkugelförmigen Enden hat; derselbe ruht auf einer Glasstütze. An dem dem Glascylinder nächsten Ende des Hauptkonduktors ist ein Stab befestigt, welcher eine Reihe feiner Metallspitzen trägt, dem Aussehen nach einem Rechen gleich; das andere Ende trägt gewöhnlich einen in einen Messingknopf auslaufenden Stab. Das Gesamtbild der Maschine zeigt Fig. 29. Wird der Handgriff gedreht, so erzeugt die Reibung zwischen dem Glase und der amalgamierten Oberfläche des Reibzeuges eine kräftige elektrische Aktion; und die Elektrizität

erscheint als + Ladung auf dem Glase, während auf dem Reibzeuge eine — Ladung zurückbleibt. Der Hauptkonduktor sammelt diese Ladung durch folgenden Vorgang an: Indem die + Ladung auf dem Glase im Kreise herumgeführt wird, wirkt sie induzierend auf den länglichen isolierten Konduktor, indem sie eine + Ladung nach dem entfernten Ende abstösst und auf dem nahen Ende eine — Ladung anzieht. Der Zweck der Spitzenreihe besteht darin, einen negativ elektrisierten Luftstrom (vergl. Art. 47) nach der anziehenden + Ladung auf dem Glase auszuströmen, welches dadurch neutralisiert wird; auf diese Weise kommt das Glas an das Reibzeug im neutralen Zustande und kann dann von neuem erregt werden. Diese Wirkung der Spitzen wird bisweilen, obgleich weniger richtig, so erklärt, dass man sagt, die Spitzen saugen die + Ladung aus dem Glase. Wenn man auch die — Ladung des Reibzeuges zu sammeln wünscht, muss das Kissen auf einer isolierenden Stütze ruhen und auf der Rückseite mit einem Metallknopfe versehen sein. Gewöhnlich benutzt man jedoch nur die + Ladung und verbindet das Reibzeig durch eine Kette mit der Erde, indem man auf diese Weise die — Ladung neutralisiert.

43. Die Scheiben-Elektrisiermaschine. Die Scheiben-Maschine konstruiert man, wie ihr Name andeutet, aus einer kreisförmigen Scheibe von Glas oder Ebonit und versieht dieselbe gewöhnlich mit 2 Paar Reibzeugen aus doppelten Kissen, welche die Scheibe zwischen sich reiben, und an ihrer höchsten und tiefsten Stelle angebracht sind. Dieselben sind mit Seidenlappen versehen, von denen jeder einen Quadranten des Kreises bedeckt. Der Hauptkonduktor ist entweder doppelt oder so gebogen, dass derselbe der Scheibe

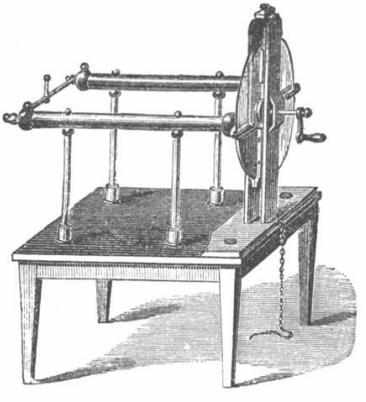

Fig. 30.

an beiden Enden ihres horizontalen Durchmessers ganz nahe ist; derselbe ist mit 2 Reihen Spitzen versehen, welche denselben Zweck haben, wie die Spitzenreihe bei der Cylindermaschine. Eine gebräuchliche Form der Scheibenmaschine zeigt Fig. 30. Die Wirkungsweise der Maschine ist in allen Punkten von theoretischem Interesse dieselbe, wie bei der Cylindermaschine. Ihre Vorzüge bestehen darin, dass eine grosse Glasscheibe leichter hergestellt werden kann als ein grosser Glascylinder von vollkommener Gestalt; und dass die Entfernung auf der Oberfläche des Glases zwischen den aufsammelnden Spitzen und den Rändern der Reibzeuge bei der Glasscheibe grösser ist, als bei dem Cylinder, vorausgesetzt, dass man beide Male gleich grosse Flächen reibt, denn es sei noch bemerkt, dass, nachdem die beiden auf diese Weise getrennten Ladungen bis zu einem gewissen Betrage angesammelt sind, eine Entladung längs dieser Oberfläche stattfindet, mithin deren Länge die Wirksamkeit der Maschine beschränkt. Bei einer neuern Konstruktion, welche wir Le Roy verdanken, und welche von Winter modifiziert wurde, hat man nur ein Reibzeug mit Lappen, die etwas mehr als einen Quadranten der Scheibe bedecken, und einen Kollektor mit doppelter Spitzenreihe, während der Hauptkonduktor aus einem ringförmigen Körper besteht.

44. Elektrisches Amalgam. Canton, welcher fand, dass Glas im hohen Grade elektrisiert wurde durch Eintauchen in trockenes Quecksilber, schlug vor, ein Amalgam von Zinn mit Quecksilber als geeigneten Ueberzug des Reibzeuges zu gebrauchen. Noch besser ist das Kienmayer'sche Amalgam, welches zu gleichen Teilen aus Zinn und Zink besteht, welche in geschmolzenem Zustande mit Quecksilber zusammengemengt werden (1 Teil Zinn, 1 Teil Zink, 2 Teile Quecksilber). Musivgold kann man ebenfalls gebrauchen. Diese Amalgame werden mit etwas steifem Fett auf die Kissen gestrichen. Sie haben den doppelten Zweck, die — Ladung wegzuleiten, welche während der Thätigkeit der Maschine auf dem Reibzeuge erzeugt wird, und als Reibzeug einen Stoff zu bieten, welcher noch mehr negativ (vergl. die

Liste in Art. 6) ist, als das Leder oder die Seide des Kissens selbst. Gepulverter Graphit ist ebenfalls gut.

45. Vorsichtsmassregeln beim Gebrauche der Elektrisiermaschinen. Verschiedene Vorsichtsmassregeln sind beim Gebrauche der Elektrisiermaschinen zu beobachten. Feuchtigkeit und Staub muss man sorgfältig vermeiden. Die Oberfläche des Glases ist hygroskopisch, und man muss daher, abgesehen von sehr trockenen Klimaten, die Glasflächen und das Reibzeug erwärmen, um den angesammelten Feuchtigkeitsüberzug zu entfernen. Gläserne, zur Isolation bestimmte Stützen können mit einer dünnen Schicht von Schellack oder (festem) Paraffin überzogen werden. Ein Paar Tropfen wasserfreien Paraffins (welches man erhält, wenn man ein Stückchen Natrium in eine Flasche mit Paraffin-Oel thut), welche man mittelst eines Flanelllappens an die vorher erwärmten Flächen bringt, verhüten den Feuchtigkeitsniederschlag. Eine Elektrisiermaschine, welche mehrere Monate nicht gebraucht wurde, erfordert einen neuen Amalgambezug ihres Reibzeuges. Dasselbe sollte gereinigt und erwärmt werden; eine dünne gleichmässige Schicht von Talg oder anderm steifen Fett wird darüber gestrichen, und das Amalgam, welches vorher zu feinem Pulver zerstossen wurde, wird auf die Oberfläche gesiebt. Trotz aller Vorsichtsmassregeln sind die Reibungselektrisiermaschinen bei feuchtem Wetter doch nicht ganz zuverlässig, und dies ist der Hauptgrund, weshalb dieselben jetzt von den Influenzmaschinen verdrängt worden sind; denn letztere braucht man nicht zu erwärmen.

Alle *Spitzen* sollte man bei Apparaten für Reibungselektrizität vermeiden, ausgenommen da, wo man sie besonders wünscht, wie z. B. die »saugenden« Spitzen am Hauptkonduktor, um eine elektrische Ladung abzuleiten. Alle Stäbe etc. bei Apparaten für Reibungselektrizität werden deshalb mit abgerundeten Knöpfen versehen.

46. Versuche mit der Elektrisiermaschine. Mit der Elektrisiermaschine lassen sich viele hübsche und interessante Versuche anstellen. Die Erscheinungen der *Anziehung und Ab-*

stossung können im grossen Massstabe zur Anschauung gebracht werden. Fig 31 stellt eine als **das elektrische Glockenspiel** bekannte Vorrichtung dar[1]), bei welchem 2 kleine, an seidenen Schnüren aufgehängte Metallkugeln in Bewegung gesetzt werden und gegen die Glocken anschlagen, zwischen denen sie aufgehängt sind. Die beiden äussern Glocken sind mittelst metallener Drähte oder Ketten an den Knopf der Maschine gehängt. Die dritte Glocke hängt an einem seidenen Faden, steht jedoch mit dem Erdboden durch eine Metallkette in Verbindung. Die Kugeln werden zuerst von den elektrisierten äussern Glocken angezogen, dann abgestossen, und nachdem sie sich an der nicht isolierten mittleren Glocke entladen haben, abermals angezogen, und auf diese Weise schwingen die Kugeln hin und her.

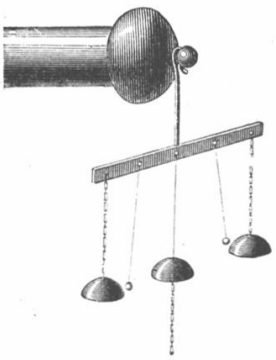

Fig. 31.

Bei einer andern Vorrichtung lässt man kleine, aus Mark geschnittene Figuren oder Puppen auf- und niedertanzen zwischen einer Metallplatte, welche horizontal am Knopfe der Maschine aufgehängt ist, und einer andern platten Scheibe, welche sich einige Zentimeter tiefer befindet und mit der Erde in Verbindung steht.

Eine andere beliebte Methode, die elektrische Abstossung zu zeigen, besteht darin, eine Puppe mit langen Haaren auf die Maschine zu stellen. Die einzelnen Haare stehen zu Berge, wenn die Maschine in Thätigkeit gesetzt wird, indem sie vom Kopfe und von einander abgestossen werden. Aehnlich verhält es sich mit einem Papiertroddel, den man an den Hauptkonduktor hängt. Die überraschendste Art aber, diese Erscheinung zu zeigen, ist die, eine Person auf einen Schemel mit gläsernen Beinen treten

---

1) Erfunden im Jahre 1752 von Franklin, um ihn von dem Vorhandensein atmosphärischer Elektrizität zu benachrichtigen, welche ein zugespitzter eiserner Stab aus der Luft über seinem Hause aufsog.

und sie den Knopf der Maschine berühren zu lassen; wird die Maschine in Thätigkeit gesetzt, so stehen die Haare der Person zu Berge, falls dieselben trocken sind. Auch Funken springen ohne weiteres von einer auf diese Weise elektrisierten Person zu einer auf dem Erdboden Stehenden über.

Durch die Funken der Maschine kann man Weingeist oder Aether in einem metallenen Löffel anzünden, der durch einen Draht mit dem nächsten in die Erde führenden metallischen Leiter verbunden ist. Ausströmendes Gas kann dadurch entzündet werden, dass man vom Finger einer, wie eben beschrieben, auf einem Isolierstuhle stehenden Person einen Funken nach dem Brenner überspringen lässt.

47. Wirkung von Spitzen; elektrischer Wind. Die *Wirkung von Spitzen,* Elektrizität von der Oberfläche eines Konduktors ausströmen zu lassen, kann man durch zahlreiche Versuche leicht beweisen. Ist die Maschine gut im Stande, und liefert sie 4 Zoll lange Funken, wenn man dem Knopfe den Knöchel nähert, so kann eine feine, zugespitzte Nadel, welche man am Konduktor anbringt, durch ihre Spitze die Elektrizität

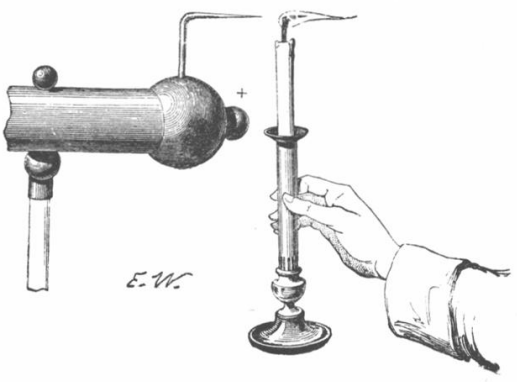

Fig. 32.

in so wirkungsvoller Weise entladen, dass man nur ganz kurze Funken aus dem Knopfe ziehen kann, während gleichzeitig ein feiner Strahl oder ein Büschel von blassblauem Lichte an der

Nadelspitze erscheint. Hält man eine angezündete Kerze vor dieselbe, so wird die Flamme durch die Strömung der von der Spitze abgestossenen elektrisierten Luft merklich zur Seite geblasen (Fig 32). Diese Luftströmungen kann man mit der Hand fühlen. Sie rühren von einer gegenseitigen Abstossung der elektrisierten Luftteilchen in der Nähe der Spitze und der auf der Spitze selbst angesammelten Elektrizität her. Diese *gegenseitige Abstossung* kann durch Hamilton's **elektrisches Flugrad** oder **elektrische Reaktionsmühle** (Fig. 33) nachgewiesen werden. Dieselbe besteht aus einem leichten Kreuze aus Metall oder Stroh, welches auf einem vertikalen Stifte ruht und dessen zugespitzte Enden rechtwinklig umgebogen sind. Stellt man dasselbe auf den Hauptkonduktor oder verbindet es mit demselben durch eine Kette, so treibt die abstossende Kraft zwischen der Elektrizität der Spitzen und derjenigen der unmittelbar davor befindlichen Luft das Rad herum, und zwar in einer Richtung, welche derjenigen entgegengesetzt ist, nach welcher die Spitzen umgebogen sind.

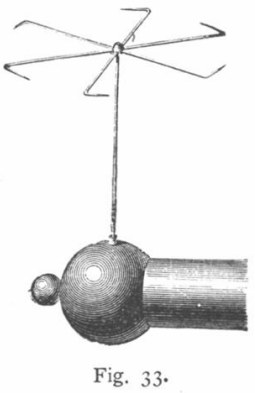

Fig. 33.

48. Armstrong's Dampf-Elektrisiermaschine. Die Reibung eines Dampfstrahles, welcher durch eine hölzerne Röhre aus dem Kessel strömt, erzeugt Elektrizität. In Wahrheit sind es die im Strahle verdichteten Wasserteilchen, welche diese Wirkung hervorbringen. W. Armstrong, welcher diese Elektrizitätsquelle untersuchte, konstruierte einen wirksamen Apparat, der unter dem Namen der **Dampf-Elektrisiermaschine** bekannt ist. Dieselbe kann ausserordentlich grosse Mengen von Elektrizität erzeugen und Funken von fünf bis sechs Fuss Länge geben. Der Kollektor besteht aus einer Reihe Spitzen, welche von den aus hölzernen Röhren strömenden Dampfstrahlen getroffen und nebst einer als Hauptkonduktor dienenden Metallkugel von einer gläsernen Säule getragen werden.

49. Influenz-Maschinen. Es giebt noch eine andre Klasse von Elektrisiermaschinen, welche sich gänzlich von den bisher beschriebenen unterscheiden und auf dem Prinzipe der Influenz beruhen. Man hat sie auch *Konvektion-Induktionsmaschinen* genannt, weil sie auf der Verwendung einer kleinen Anfangsladung beruhen, welche durch Influenz andere Ladungen erzeugt, die dann durch die beweglichen Teile der Maschine an eine andere Stelle *geführt* werden, wo sie die Anfangsladungen vermehren oder einem geeigneten Kollektor eine Zufuhr an Elektrizität mitteilen können. Unter diesen Apparaten ist der älteste der **Elektrophor**, welcher in der 3. Vorlesung zur Genüge erklärt wurde. Bennet, Nicholson, Erasmus Darwin und Andere erfanden Apparate, um durch Mechanismus das zu verrichten, was beim Elektrophor die Hand thut. Nicholson's Umdrehungs-Verdoppler (im Jahre 1788 erfunden) ist ein rotierender Apparat, bei welchem eine isolierte Verteilungswalze in die Nähe eines elektrisierten Körpers gebracht werden kann, dort einen Augenblick zur Berührung gelangt, so lange sie sich noch unter Influenz befindet, und dann mit ihrer aufgenommenen Ladung zu einem andern Körper geführt wird, dem sie ihre Ladung mitteilt, und welcher seinerseits induzierend auf sie wirkt und ihr eine entgegengesetzte Ladung mitteilt, welche die Verteilungswalze dann nach dem ersten Körper wieder überführt, und so dessen ursprüngliche Ladung bei jeder Rotation vermehrt.

Bei den neuern Influenzmaschinen kommen zwei Prinzipien zur Geltung: 1) Das Prinzip der *Influenz*, d. h. ein Konduktor, welcher ableitend berührt wird, so lange er sich noch unter Influenz befindet, erhält eine Ladung entgegengesetzter Art. 2) Das Prinzip der *gegenseitigen Verstärkung*. Dies bedarf einer genauen Erläuterung. Angenommen, A und B seien zwei isolierte Konduktoren, welche eine wenn auch noch so schwache Anfangsladung besitzen, A eine positive und B eine negative. Ferner werde ein dritter isolierter Konduktor C (*Träger* genannt) derart bewegt, dass er sich erst dem A, dann dem B, hierauf wieder dem A u. s. w. nähert. Wird C ableitend berührt, so

lange er sich noch unter Influenz der kleinen + Ladung von *A* befindet, so wird er schwach — elektrisch. Dann möge sich *C* weiter bewegen und diese — Ladung an *B* abgeben. Hierauf werde *C*, so lange er noch unter Influenz von *B* steht, ableitend berührt, so wird *C* schwach + elektrisch. Bei der Rückkehr nach *A* gebe *C* seine + Ladung an *A* ab und verstärke dadurch also die + Ladung des *A*. Die Folge ist, dass *A* jetzt kräftiger wirkt als vorher, und, falls die genannten Vorgänge sich wiederholen, werden die Ladungen von *A* sowohl als auch von *B* immer stärker. Jeder der beiden Konduktoren sammelt die Ladungen an, welche durch Influenz des andern entstehen. Dies ist die prinzipielle Wirkungsweise der fraglichen Maschinen. Die neuern Influenzmaschinen datieren von 1860, wo C. F. Varley ein Modell mit 6 Trägern konstruierte, welche auf einer rotierenden Glasscheibe angebracht waren. Dann folgten 1865 die Maschine von Holtz und die von Töpler, und 1867 die des Lord Kelvin (der Replenisher); die neuesten Konstruktionen verdanken wir James Wimshurst.

50. Diagramm der Maschine. Bevor wir einige besondere Modelle beschreiben, wollen wir ein allgemeines Diagramm der Maschine besprechen, bestehend aus zwei festen *Belegen A* und *B*, welche eine +, resp. — Ladung erhalten sollen, und aus einer Reihe von *Trägern*, welche an einer rotierenden Scheibe *(Armatur)* befestigt sind. Fig. 34 giebt eine schematische Ansicht der wesentlichen Teile. Um die Zeichnung zu vereinfachen, sind die Metallbelege *A* und *B* so gezeichnet, als ob sie an der äussern Seite eines feststehenden äussern Glascylinders angebracht wären, und die 6 Träger *p q r s t u* derart, als ob sie auf der innern Seite eines innern rotierenden

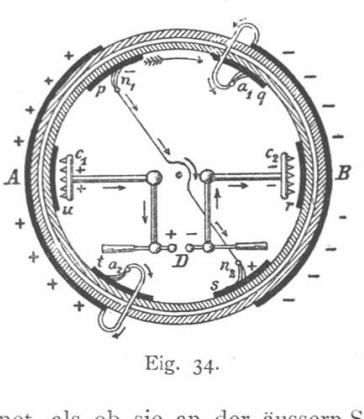

Fig. 34.

Cylinders sässen. Die wesentlichen Teile sind nun folgende:

1) Ein Paar Belege A und B

2) Eine Reihe von rotierenden Trägern $p\ q\ r\ s\ t\ u$.

3) Ein Paar *neutralisierende Bürsten* n_1 und n_2, bestehend aus biegsamen Metalldrähten, welche die Träger ableitend berühren, so lange diese noch unter Influenz der Belege stehen. Sie sind durch einen *Querkonduktor*, welcher nicht isoliert zu werden braucht, mit einander verbunden.

4) Ein Paar *Zufuhrbürsten* a_1 und a_2, welche von den Belegen ausgehen und bis an die Träger reichen. Diese Bürsten sollen die von den Trägern weiter geführten Ladungen aufnehmen und dieselben den Belegen zuführen.

5) Den bisher genannten Teilen (welche zur Konstruktion einer selbsterregenden Maschine vollständig ausreichen) fügt man gewöhnlich noch einen *Entladungsapparat* hinzu, welcher aus zwei Kämmen C_1 und C_2 besteht. Dieselben sollen diejenigen Ladungen aus den Trägern aufsaugen, welche diese bei ihrem Durchgange bei den Zufuhrbürsten nicht abgegeben haben. Diese Kämme stehen mit den verstellbaren Entladungskugeln bei D in leitender Verbindung.

Die Maschine arbeitet nun in folgender Weise: Die neutralisierenden Bürsten werden zunächst so eingestellt, dass sie die beweglichen Träger in dem Augenblicke berühren, wo diese den Influenzbereich der Belege verlassen. Angenommen, der Beleg A hätte eine wenn auch noch so schwache + Ladung, so erhält der Träger p, welcher gerade im Augenblicke seines Durchgangs von n_1 berührt wird, eine schwache — Ladung, welche er nach der Zufuhrbürste a_1 mitnimmt, so dass B auf diese Weise schwach — elektrisch wird. Dasselbe bewirkt jeder Träger, wenn er sich (in der Zeichnung oben) von links nach rechts bewegt. In derselben Weise wird jeder Träger, wenn er sich (in der Zeichnung unten) von rechts nach links bewegt, von n_2 berührt, und zwar, so lange er noch unter Influenz der — Ladung des B steht. Deshalb wird er dem A durch die Zufuhrbürste a_2 eine kleine + Ladung zuführen. So wird A in

kurzer Zeit stark + und B stark — elektrisch. Je stärker aber diese Ladungen werden, um so mehr werden die Kämme C_1 und C_2 von denjenigen Ladungen aufsaugen, welche die Träger vorher

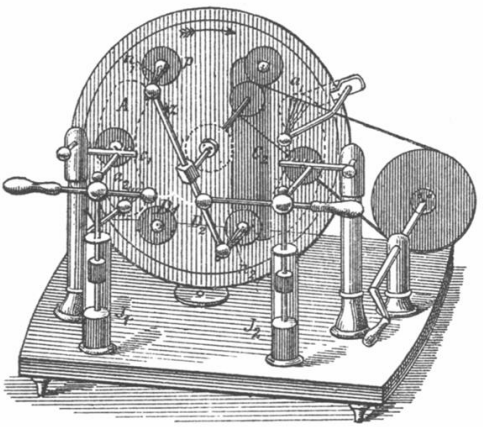

Fig. 35.

nicht haben abgeben können. Die Folge davon ist, dass elektrische Funken zwischen den Entladungskugeln bei D überspringen.

Die Maschine ist nur dann selbsterregend, wenn sowohl die neutralisierenden, als auch die Zufuhrbürsten einen guten metallischen Kontakt haben. Wäre der Entladungsapparat bei C_1 und C_2 nicht mit Spitzenkämmen, sondern mit Kontaktbürsten versehen, so könnte der Fall eintreten, dass in dem Augenblicke, wo ein längerer Funken zwischen den Entladungskugeln überspringt, die Belege ihre Ladungen verlieren oder sogar eine der ursprünglichen entgegengesetzte erhalten.

Es ist zu beachten, dass sich zwischen den festen Belegen und den rotierenden Trägern zwei Glasschichten befinden. Das Glas dient nicht allein als Stütze für die Metallteile, sondern hat auch den Zweck, eine Rückentladung (durch Funken oder elektrischen Wind) zu verhüten, welche etwa beim Durchgange der Träger von diesen zu den Belegen statt finden könnte.

Dies sind die wesentlichen Bestandteile, welche wir antreffen bei Varley's Maschine vom Jahre 1860, bei Lord Kelvin's

Replenisher (welcher nur 2 Träger hat) und bei vielen andern Maschinen, einschliesslich des unter dem Namen Clarke'scher Gasanzünder bekannten Apparates.

51. Töpler's Influenzmaschine. Bei dieser von Voss konstruierten Maschine sind verschiedene Einzelheiten berücksichtigt, welche von Holtz und andern herrühren. Ihre Konstruktion geschieht fast ganz nach dem soeben erörterten Diagramm; nur haben wir statt der beiden Cylinder zwei ebene Scheiben aus gefirnisstem Glase, eine feste und eine bewegliche, welch' letztere etwas kleiner ist und vor ersterer in Umdrehung gesetzt werden kann. (Fig. 36). Die *Belege A* und *B*

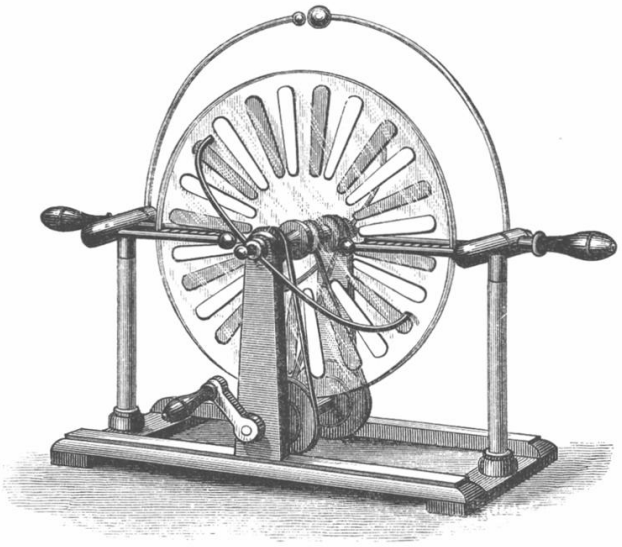

Fig. 36.

bestehen aus Stanniol, sind auf der Rückseite der festen Scheibe angebracht und mit gefirnisstem Papier überzogen. Die *Träger* sind kleine Scheiben oder Sektoren aus Stanniol, 6 bis 8 an der Zahl, und sind auf der vordern Seite der beweglichen Scheibe befestigt. Um zu verhüten, dass dieselben sich durch das Reiben der Bürsten abnutzen, ist in der Mitte jedes

Trägers noch ein kleiner Metallknopf angebracht. Die neutralisierenden Bürsten n_1 und n_2 bestehen aus dünnem elastischen Messingdraht und sitzen an den Enden eines Diagonalkonduktors Z. Die Zufuhrbürsten a_1 und a_2 sind ebenfalls aus dünnem Messingdraht und an zwei Armen befestigt, welche vom Rande der festen Scheibe ausgehen, so dass sie mit den beiden Belegen in metallischer Verbindung stehen. Die Saugkämme, deren Messingspitzen gerade so lang sind, dass die Träger noch an ihnen vorbei können, sind an isolierenden Säulen befestigt und stehen mit den verstellbaren Entladungskugeln D_1 und D_2 in Verbindung. Letztere ruhen auf zwei kleinen Leydener Flaschen J_1 und J_2, welche die Ladungen noch verstärken sollen, bevor eine Entladung stadt findet. Diese Flaschen sind in Fig. 37 besonders gezeichnet. Ohne dieselben geht die Entladung zwischen den Kugeln in Gestalt von vielen kleinen bläulichen Funken vor sich; bei Anwendung der Flaschen sind die Funken allerdings nicht so häufig, aber desto glänzender und lauter.

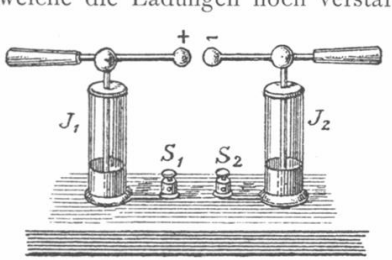

Fig. 37.

Beim Experimentieren mit der Töpler'schen (oder Voss'schen) Maschine stelle man zuerst alle 4 Bürsten so ein, dass sie mit den an ihnen vorbeigehenden Trägern einen guten metallischen Kontakt haben, und dass die neutralisierenden Bürsten die Träger berühren, so lange sie noch unter Influenz stehen. Darauf ziehe man die Entladungskugeln weit aus einander und setze die Scheibe in schnelle Rotation. Ist die Maschine rein, so muss sich dieselbe nach ein paar Umdrehungen selbst erregen, und man hört einen leisen, zischenden Ton, welcher durch innere Entladungen verursacht wird (im Dunklen als bläulicher Schimmer sichtbar). Gleichzeitig setzt die Maschine der Umdrehung einen grössern Widerstand entgegen. Bringt man die Kugeln einander näher, so springen Funken von einer zur andern über. Die Flaschen

müssen staubfrei gehalten werden; ihre erste Anwendung rührt von Holtz her. Bisweilen bringt man noch ein paar Endklemmen S_1 S_2 an, von denen jede mit der äussern Belegung einer der Flaschen in Verbindung steht. Dieselben eignen sich zum Einklemmen von Drähten, welche die Elektrizität weiter leiten, so dass man auch in grösserer Entfernung Versuche anstellen kann. Werden sie nicht zu diesem Zwecke benutzt, so muss man sie durch einen kurzen Draht mit einander verbinden, da die beiden Flaschen nur dann gehörig wirken, wenn ihre äussern Belege mit einander verbunden sind.

52. Influenz-Maschine von Wimshurst. Diese Maschine, welche von allen am häufigsten zur Anwendung kommt, besitzt keine festen Belege. Sie besteht in ihrer einfachsten Form (Fig. 38)

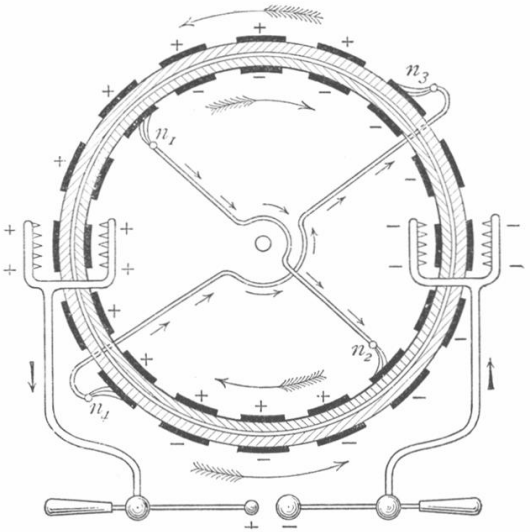

Fig. 38.

aus zwei kreisförmigen, gefirnissten Glasscheiben, welche in entgegengesetzter Richtung rotieren. Auf den äussern Seiten der beiden Scheiben sind eine Reihe von Sektoren befestigt, welche aus Metallfolie bestehen, und welche gleichzeitig als Träger und

als Induktoren dienen. Vor der vordern Scheibe ist ein nicht isolierter Diagonalkonduktor befestigt, dessen neutralisierende Bürsten die Sektoren dieser Scheibe bei ihrem Durchgange berühren. Die Sektoren der hintern Scheibe werden ebenfalls von den Bürsten eines zweiten Diagonalkonduktors berührt, der jedoch schräg zum ersten steht. Dies genügt, damit die in Rotation gesetzte Maschine sich selbst erregt. Aus Zweckmässigkeitsgründen fügt man jedoch noch einen Ansammlungs- und Entladungsapparat hinzu. Derselbe besteht aus 2 Paaren isolierter Kämme, welche ihre Spitzen nach innen gegen die rotierenden Scheiben kehren, ohne dieselben jedoch zu berühren. Das eine Paar befindet sich rechts, das andere links, auf einer isolierenden Stütze von Ebenholz. Diese Saugkämme stehen mit 2 verstellbaren Entladungskugeln in Verbindung, welche sich oberhalb der Maschine befinden. Gewöhnlich fügt man auch noch ein Paar Leydener Flaschen hinzu, damit die Funken erst dann überspringen, wenn sich eine beträchtliche Ladung angesammelt hat.

Die Wirkungsweise dieser Maschine erklären wir am besten mit Hilfe eines Diagramms (Fig. 38), bei welchem der grössern Deutlichkeit wegen die beiden rotierenden Scheiben derart gezeichnet sind, als wären es zwei Glascylinder, von denen der eine sich innerhalb des andern befindet. Der innere Cylinder stellt dann die vordere, der äussere die hintere Scheibe dar. In den Figuren 37 und 38 rotiert die vordere Scheibe von links nach rechts, die hintere Scheibe von rechts nach links. Die neutralisierenden Bürsten n_1 n_2 berühren die vordern, n_3 n_4 die hintern Sektoren.

Angenommen nun, einer der hintern, auf der obern Seite der Zeichnung befindlichen Sektoren erhielte eine kleine + Ladung. Bewegt sich derselbe dann weiter nach links, so gelangt er der Stelle gegenüber, wo einer der vordern Sektoren die Bürste n_1 streift. Die Folge davon ist, dass der von n_1 berührte und unter Influenz stehende Sektor eine kleine — Ladung erhält, welche er weiter mit sich nach rechts führt. Gelangt dann dieser vordere Sektor mit seiner — Ladung an die der

Bürste n_3 gegenüberliegende Stelle, so wirkt er induzierend auf den hintern, von n_3 berührten Sektor; folglich erhält dieser hintere Sektor eine + Ladung, welche er weiter mit sich nach links führt. Auf diese Weise werden alle Sektoren nach und nach stark geladen, und zwar führen die vordern Sektoren — Ladungen von links nach rechts, die hintern Sektoren + Ladungen von rechts nach links. Auf der untern Hälfte des Diagramms wiederholen sich diese Vorgänge, aber in umgekehrter Weise. Denn berührt n_1 einen vordern Sektor, der unter der Influenz eines + geladenen hintern Sektors steht, so strömt eine abgestossene Ladung längs des Diagonalkonduktors nach n_2 und ladet dadurch den von n_2 berührten Sektor positiv. Demnach führen die vordern Sektoren (in der untern Hälfte der Zeichnung) bei ihrer Bewegung von rechts nach links + Ladungen mit sich fort, während die hintern Sektoren nach ihrer Berührung mit n_4 negative Ladungen von links nach rechts führen. Die Metallsektoren wirken demnach gleichzeitig als Träger und als Induktoren. Es ist klar, dass fortwährend + Ladungen nach rechts und — Ladungen nach links weiter geführt werden. An denjenigen Stellen, bis zu welchen entgegengesetzte Ladungen geführt werden, befinden sich die Saugkämme, welche mit den Entladungskugeln in Verbindung stehen. Diese müssen weit von einander entfernt werden, sobald die Maschine in Bewegung gesetzt wird, und dürfen erst dann einander genähert werden, wenn sich die Maschine erregt hat.

Bei grössern Wimshurst'schen Influenzmaschinen werden zwei, drei oder noch mehr Paare von entgegengesetzt rotierenden Scheiben aufgestellt, und das ganze mit einem Glasgehäuse bedeckt, um die Maschine staubfrei zu erhalten. Haben die neutralisierenden Bürsten einen guten metallischen Kontakt, so sind die Maschinen bei jeder Witterung selbsterregend. Maschinen, welche nicht mehr als 6 bis 8 Sektoren auf jeder Scheibe tragen, geben längere, aber spärlichere Funken, als diejenigen mit einer grössern Anzahl von Sektoren. Wimshurst selbst hat viele Influenzmaschinen entworfen, von den kleinsten, mit Scheiben von

nur 2 Zoll Durchmesser, bis zu jener in Süd-Kensington befindlichen, deren Scheiben 7 Fuss im Durchmesser haben.

Noch vor Wimshurst hat Holtz eine Maschine mit 2 entgegengesetzt rotierenden Glasscheiben konstruiert; diese führten aber keine Metallsektoren und die Maschine war nicht selbsterregend.

53. Die Influenzmaschine von Holtz. Diese Maschine hat folgende besonderen Einrichtungen. Auf der rotierenden Scheibe befinden sich keine Metallträger, und man kann deshalb die Maschine nicht in der bisherigen Weise laden, d. h. durch Berührung von Leitern, welche unter Influenz stehen. Die Belege A und B (Fig. 39), welche aus gefirnisstem Papier, einem Halbleiter, bestehen, sind auf der Rückseite der festen Glasscheibe angebracht. In dieser Scheibe befinden sich 2 Oeffnungen (Fenster), in welche 2 zugegespitzte, von den Belegen ausgehende Papierstreifen hineinragen; dieselben ersetzen die Zufuhrbürsten. Die Entladungskugeln befinden sich innerhalb des neutralisierenden Stromes und stehen mit ein paar Spitzen tragenden Metallkämmen in Verbindung, die vor der rotierenden Scheibe angebracht sind, den Belegen gegenüber. Ein Diagonalkonduktor war anfangs nicht vorhanden. Man beachte, dass die Kämme, welche gleichzeitig neutralisierend und saugend wirken, sich vor der rotierenden Scheibe befinden, während die Zuführungsstreifen auf der hintern Seite derselben Scheibe sind. Fig. 39 giebt eine Ansicht der Maschine von hinten. Die Maschine ist nicht selbsterregend. Man verfährt in folgender Weise: Nachdem man die beiden Entladungskugeln einander genähert hat, wird die vordere Scheibe in schnelle Rotation versetzt. Hierauf wird einem der Belege eine kleine Anfangsladung erteilt, entweder mit Hilfe eines geriebenen Glas- oder Hartgummistabes, oder mittelst einer Leydener Flasche. Dadurch ladet sich die Maschine von selbst. Man sieht bläuliche Funken aus den Kamm-

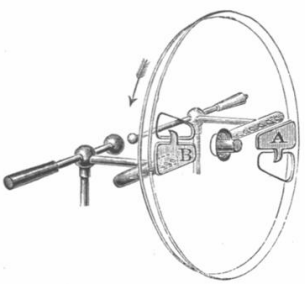

Fig. 39.

spitzen und aus den Papierstreifen ausströmen und vernimmt ein zischendes Geräusch. Entfernt man dann die Entladungskugeln von einander, so entsteht zwischen ihnen ein Funkenstrom. —

Hiernach ist es nun nicht schwer, die Wirkungsweise der Maschine zu verfolgen. Man beachte nur den Satz, dass die Oberfläche eines Nichtleiters, z. B. Glas, dadurch elektrisiert werden kann, dass man aus einer in der Nähe befindlichen Spitze einen elektrischen Wind gegen die Oberfläche ausströmen lässt (vergl. Art. 47). Angenommen, wir hätten dem Belege A eine kleine + Anfangsladung mitgeteilt. Diese wirkt durch Influenz auf die ihr unmittelbar gegenüberliegenden Metallteile, wodurch die Spitzen negativ elektrisch werden und deshalb einen negativ elektrischen Wind ausströmen, welcher die Oberfläche der rotierenden Scheibe ladet. Diese Ladung wird dann mit der Scheibe nach der andern Seite geführt, wo die Spitzen des zweiten Kammes dann also einen + elektrischen Wind ausströmen. Die zugespitzten Streifen, welche gegen die Rückseite der rotierenden Scheibe gerichtet sind, strömen ebenfalls Winde aus und sind stets bestrebt, der Rückseite der Scheibe eine solche Ladung zu erteilen, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die auf der vordern Seite zu ihnen gelangt. Werden auf der vordern Seite negative Ladungen weiter geführt, so ist der Ansatzstreifen von B bestrebt, eine positive Ladung gegen die Rückseite auszuströmen, wodurch B stärker negativ elektrisch wird. Ebenso strömt der Ansatzstreifen von A einen — elektrischen Wind aus, und ladet A dadurch stärker positiv, so dass sich auf den beiden Belegen zwei entgegengesetzte Ladungen ansammeln. Diese Wirkung tritt nur dann ein, wenn die bewegliche Scheibe nach der entgegengesetzten Richtung rotiert, nach welcher die Ansatzstreifen zeigen.

Die Maschine von Holtz leidet an mehreren Mängeln. Ihre Wirkung hängt ganz von der Witterung ab; es kann vorkommen, dass sich die Ladungen plötzlich umkehren. Auch können die erwähnten elektrischen Winde, von denen schliesslich alles abhängt,

nur dann entstehen, wenn man der Maschine eine hinreichend starke Anfangsladung gegeben hat.

Neuerdings hat man Maschinen mit mehreren rotierenden Scheiben konstruiert, welche auf einer gemeinsamen Achse befestigt sind, und hat dann das Ganze mit einem Glasgehäuse umgeben, um den Zutritt von Feuchtigkeit zu verhüten. Bisweilen bringt man an der Achse auch noch eine kleine mit einem Reibzeug versehene Scheibe von Hartgummi an, um die Anfangsladung durch Reibung zu unterhalten. Holtz konstruierte z. B. eine Maschine mit 32 Scheiben, sowie eine andere mit 2 nach entgegengesetzten Richtungen rotierenden Glasscheiben.

Die Maschine von Holtz ist, wie jede andere Art von Influenzmaschinen, in ihrer Wirkung *umkehrbar*, d. h. werden den Belegen ununterbrochen beide Elektrizitäten (mit Hilfe einer zweiten Maschine) zugeführt, so wird die bewegliche Scheibe dadurch in Umdrehung versetzt.

Righi zeigte, dass die Maschine von Holtz einen konstanten Strom liefern kann, gerade so wie eine Volta'sche Batterie, und dass die Stromstärke annähernd der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional ist. Er fand, dass die elektromotorische Kraft der Maschine bei jeder Geschwindigkeit gleich der von 52,000 Daniell Elementen, oder fast 53,000 Volt ist. Machte die Maschine 120 Umdrehungen in der Minute, so betrug der Widerstand 2810 Millionen Ohm; dagegen nur 646 Millionen Ohm, wenn 450 Umdrehungen in der Minute gemacht werden.

54. Versuche mit der Influenzmaschine. Die in Art. 43 beschriebenen Versuche sowie alle diejenigen, welche wir gewöhnlich mit den alten Reibungselektrisiermaschinen anstellen, einschliesslich des Ladens einer Leydener Flasche, lassen sich auch mit Hilfe der Influenzmaschinen zeigen. Bei einigen Versuchen ist es zweckmässig, eine der Entladungskugeln mit dem Erdboden in leitende Verbindung zu bringen und die Entladung von der andern Kugel zu nehmen. Um kleine mit verdünnter Luft angefüllte Glasröhren leuchten zu lassen, befestige man dieselben mittelst eines mit Guttapercha überzogenen Drahtes an

den Entladungskugeln oder auch an den Endklemmen S_1 S_2 (siehe Fig. 37). Die merkwürdige Eigenschaft der elektrischen Spitzenentladung, Staub oder Rauch aufzusaugen, lässt sich sehr einfach dadurch zeigen, dass man eine Nadel mittelst eines Drahtes in eine Glasglocke einführt. Letztere wird mit Rauch angefüllt, indem man innerhalb derselben ein Stück Magnesiumdraht oder Löschpapier verbrennt. Wenn man dann die Kurbel der Influenzmaschine bewegt, so schlägt sich der Rauch plötzlich nieder und die Luft ist wieder rein.

VI. VORLESUNG: *Die Leydener Flasche und andre Kondensatoren.*

55. In den vorhergehenden Vorlesungen wurde nachgewiesen, dass entgegengesetzte elektrische Ladungen einander anziehen; dass die Elektrizität nicht durch Glas hindurchströmen kann, dass sie jedoch *durch Glas hindurch* infolge von Influenz wirken kann. Zwei aufgehängte Hollundermarkkugeln, von denen die eine +, die andre — elektrisch ist, ziehen sich gegenseitig an durch die dazwischen befindliche Luft, auch wenn eine Glasscheibe zwischen sie gehalten wird, obgleich weder sie selbst, noch die elektrischen Ladungen auf ihnen durch das Glas hindurch können. Wenn man eine negativ elektrisierte Hollundermarkkugel in das Innere einer trockenen Glasflasche hängt, und ausserhalb einen geriebenen Glasstab hält, so bewegt sich die Hollundermarkkugel nach der dem Glasstabe nächsten Seite der Flasche, da sie von der ihr so genäherten + Ladung angezogen wird. Befestigt man mitten auf jeder Seite einer Glasscheibe ein Stück Zinnfolie und ladet das eine Stück +, das andre —, so ziehen sich beide Ladungen durch das Glas hindurch an, und sind dann nicht mehr frei. Stellt man die Scheibe aufrecht, so dass die Stücke von Zinnfolie den Tisch nicht berühren, so ergiebt sich, dass man durch blosses Berühren der Zinnfolie kaum irgend welche Elektrizität erhalten kann, denn die Ladungen sind durch ihre gegenseitige Anziehung **gebunden**; jede Ladung

wirkt induzierend auf die andre. Es stellt sich in der That heraus, dass diese beiden Stücke Zinnfolie auf diese Weise bei weitem stärker geladen werden können, als es der Fall sein würde, wenn jedes allein auf ein Stück Glas geklebt und dann elektrisiert würde. Mit andern Worten: *Die Kapazität eines Konduktors wird beträchtlich vergrössert, wenn derselbe in die Nähe eines mit der entgegengesetzten Elektrizität geladenen Konduktors gebracht wird.* Wenn seine Kapazität erhöht wird, so kann man demselben ein grösseres Quantum Elektrizität mitteilen, ehe er auf ein gleich hohes Potential gebracht wird. Deshalb kann man einen solchen Apparat, der dazu bestimmt ist, ein grosses Quantum Elektrizität zu fassen, einen **Kondensator** der Elektrizität nennen.

56. Kondensatoren. Angenommen nun, wir hätten 2 an isolierenden Stützen befestigte Metallscheiben A und B (Fig. 40) und zwischen ihnen eine Glasscheibe. B sei durch einen Draht mit dem Knopfe einer Elektrisiermaschine verbunden und A ebenfalls durch einen Draht mit der Erde. Die + Ladung auf B wirkt durch die Glasscheibe hindurch induzierend auf A, stösst die + Elektrizität zur Erde ab und lässt eine — Ladung auf der nächsten Seite von A zurück. Diese — Ladung auf A zieht die + Ladung von B auf die dem Glase zugekehrte Seite hin, und eine neue Zufuhr an Elektrizität kommt von der Maschine. Auf diese Weise wird dieser Apparat ein Kondensator. Werden die beiden Metallscheiben dicht an die Glasscheibe gerückt, so findet eine um so stärkere Anziehung zwischen der + und — Ladung statt, weil sie sich dann näher sind und die induzierende Kraft grösser ist; deshalb kann ein noch grösseres Quantum in den Metallscheiben angehäuft werden. Daraus erkennen wir, dass die Kapazität eines Kondensators erhöht wird, wenn man die Scheiben nahe zusammenbringt. Wenn man dann, während die Scheiben stark geladen sind, die

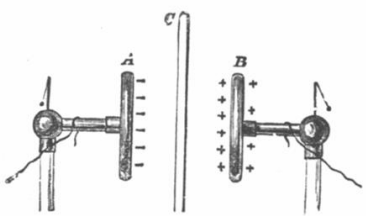

Fig. 40.

Drähte entfernt und die Scheiben auseinander rückt, so halten sich die beiden Ladungen nicht mehr so fest gebunden, und es befindet sich an ihren Oberflächen mehr *freie* Elektrizität als vorher. Dies erkennt der Experimentierende an den kleinen Hollundermarkkugel-Elektroskopen, welche an ihnen befestigt sind (man sehe die Figur), und welche aus einander fliegen, sobald man die Metallplatten von einander entfernt. Wir haben der Scheibe B keine weitere Ladung mitgeteilt und doch sollten wir aus dem Verhalten der Elektroskope schliessen, dass sie durch ihre Entfernung von der Scheibe A stärker elektrisiert worden wäre. Die Sache ist die, dass die *Kapazität* von B beträchtlich erhöht wurde, so lange der Konduktor B sich in der Nähe der — Ladung von A befand, dass aber die Kapazität von B abnahm, als B von A entfernt wurde, und deshalb wird jetzt B durch dasselbe Quantum Elektrizität stärker elektrisiert als vorher. Eine mit der Erde verbundene Platte in der Nähe eines isolierten Konduktors erhöht daher seine Kapazität und gestattet demselben eine grössere Ladung in sich anzuhäufen durch Anziehung und *Verdichtung* der Elektrizität auf der der Erdplatte zugekehrten Seite, so dass die Oberflächen-Dichte auf dieser Seite also sehr gross ist. Deshalb nennt man die Vorrichtung passend einen Kondensator. Früher war auch der Name *Akkumulator* in Gebrauch; doch wendet man diesen Ausdruck heutzutage nur noch bei einer besondern Art von Batterieen an, welche die Energie elektrischer Ströme ansammeln (Vorl. 48).

Eine *Luftschicht* zwischen den beiden Scheiben genügt auch schon, um die beiden Ladungen von einander zu isolieren. Die auf diese Weise durch eine Luftschicht getrennten Metallscheiben bilden einen **Luftkondensator.** Solche Kondensatoren wurden zuerst von Wilke und Aepinus konstruiert. Bei diesen Versuchen wirken die Glasplatte oder die Luftschicht als *dielektrische Körper* (Art. 290), indem sie den elektrischen Induktionskräften durch sie hindurchzuwirken gestatten. Alle dielektrischen Körper sind Isolatoren; aber Körper, die gleich gute Isolatoren sind, sind darum noch nicht notwendig auch gleich gute die-

lektrische Körper. Luft und Glas sind bei weitem bessere Isolatoren als Ebonit oder Paraffin, insofern als sie viel schlechtere Leiter sind. Doch ist die Influenz durch eine Glasplatte stärker, als durch eine gleich dicke Platte von Ebonit oder Paraffin, und durch diese wieder stärker, als durch eine Luftschicht. Mit andern Worten: Glas ist ein besserer **dielektrischer** Körper, als Ebonit oder Paraffin oder Luft, da es eine grössere induktive Kapazität besitzt. Man wird demnach bemerken, dass beim Laden eines Kondensators auf der einen Seite ebenso viel Elektrizität ausströmt, wie auf der andern einströmt.

57. **Verschiebung.** Wenn elektrische Kräfte auf einen dielektrischen Körper wirken, indem sie die Elektrizität auf der einen Seite zu- und auf der andern Seite abzuleiten bestrebt sind, so können wir uns in der Richtung der Kraftwirkung Kraftlinien durch den dielektrischen Körper gezogen denken, und können kanalförmige Räume als mit solchen Kraftlinien angefüllt betrachten. Wir stellen uns vor, dass ein Kraftkanal auf der einen Seite von einem bestimmten Stück der + geladenen Oberfläche und auf der andern Seite von einem Teil der — geladenen Oberfläche begrenzt wird. Diese Grenzen können von verschiedener Grösse und Gestalt sein, doch sind die Mengen von positiver und negativer Elektrizität auf beiden gleich gross. Diejenige elektrische Menge, welche durch den Kanal hindurch überführt wird, nennt Maxwell die *Verschiebung*. Bei Nichtleitern ist sie der elektromotorischen Kraft proportional. In Leitern werden durch elektromotorische Kräfte Ströme erzeugt, welche als solche Verschiebungen betrachtet werden können, die mit der Zeit fortwährend wachsen. Bei gewissen krystallinischen Medien findet die Verschiebung nicht genau in der Richtung der elektrischen Kraft statt; in diesem Falle können wir daher eher von Influenzkanälen als von Kraftkanälen reden. Unter Kanaleinheit verstehen wir denjenigen Kanal, dessen Enden durch die positive oder negative Einheit begrenzt werden. Das ganze elektrische Feld zwischen einem + und einem — geladenen Körper kann in solche Kanäle zerlegt gedacht werden.

58. Kapazität eines Kondensators. Hieraus geht hervor, dass die Kapazität eines Kondensators abhängt:

1) Von der Grösse und Gestalt der Metallplatten oder Metallbelege,
2) von der Dicke der dielektrischen Schicht zwischen ihnen, und
3) von der dielektrischen Kapazität des Körpers.

59. Die Leydener Flasche. Die Leydener Flasche, so genannt nach der Stadt, wo sie erfunden wurde, ist eine bequeme Form eines Kondensators. Sie besteht gewöhnlich aus einer Glasflasche (Fig. 41), welche auf der innern wie äussern Seite bis zu einer bestimmten Höhe mit Zinnfolie überzogen ist. Ein starker Metalldraht, welcher an seinem obern Ende einen Metallknopf trägt, führt durch einen Deckel aus trockenem, gut gefirnisstem Holze in das Innere des Gefässes und steht durch eine kleine, schlaffe Metallkette mit der innern Metallbelegung in Verbindung. Um die Flasche zu laden, hält man den Knopf an den Hauptkonduktor einer Elektrisiermaschine, indem man dabei die äussere Belegung entweder mit der Hand anfasst oder durch einen Draht oder eine Kette mit der Erde verbindet. Wenn auf diese Weise der innern Belegung eine + Ladung mitgeteilt wird, so wirkt dieselbe induzierend auf die äussere Belegung, zieht eine — Ladung auf die das Glas berührende Seite der äussern Belegung, und stösst eine + Ladung auf die Aussenseite der äussern Belegung ab, und von dort durch die Hand oder den Draht in die Erde. Nach kurzer Zeit hat die Flasche ihre volle Ladung erhalten, indem die äussere Belegung —, die innere + geladen ist. Wenn die Flasche aus gutem Glase angefertigt ist und trocken und staubfrei, so behält sie ihre Ladung Stunden, ja Tage lang. Wenn jedoch ein Weg vorhanden ist, auf welchem die sich gegenseitig anziehenden Elektrizitäten sich vereinigen können,

Fig. 41.

so thun sie dies, und die Flasche entladet sich dann augenblicklich. Wenn man die äussere Belegung mit der einen Hand anfasst und den Knöchel der andern dem Knopfe der Flasche nähert, so springt ein heller Funke vom Knopfe auf den Knöchel mit lautem Knall über und die Muskeln der Handgelenke, Ellbogen und Schultern spüren in demselben Augenblicke einen krampfhaften Schlag. Ein sicheres Mittel, die Flasche zu entladen, bietet die **Entladungszange** oder der **Ausslader** (Fig. 42), welcher aus einem mit Scharnier versehenen Metallstabe besteht, an dem Metallknöpfe und ein gläserner Handgriff angebracht sind. Den einen Knopf hält man gegen die äussere Belegung, während der andre dann dem Knopfe der Flasche genähert wird. Ein heller, schallender Funke, der von Knopf zu Knopf springt, zeigt an, dass die beiden angehäuften Elektrizitäten sich vereinigt und dadurch die Entladung bewirkt haben. Bisweilen entladet sich eine Flasche selbst, indem ein Funken über den obern Rand der Flasche hinweg geht. Auch vernimmt man häufig bei einer stark geladenen Flasche ein zischendes Geräusch, eine Folge von teilweisen Entladungen, welche über den Rand hinweg statt finden. Im Dunkeln kann man dieselben als schwach phosphoreszierende Ströme wahrnehmen.

Fig. 42.

60. Entdeckung der Leydener Flasche. Die Entdeckung der Leydener Flasche schreibt sich her von dem Versuche Musschenbroek's und seines Schülers Cuneus[1]), welche das sogenannte elektrische Fluidum in einer halb mit Wasser gefüllten Flasche sammeln wollten, die in der Hand gehalten wurde und mit einem Nagel versehen war, welcher das Fluidum von der Elektrisiermaschine durch den Kork zu dem Wasser leiten sollte. Hier diente das Wasser als innere und die Hand

1) Die Ehre der Entdeckung wird auch für den Prälaten Kleist von Camin in Anspruch genommen.

als äussere Belegung der Flasche. Als Cuneus den Nagel berührte, erhielt er einen Schlag. Diese zufällige Entdeckung erregte in Europa und Amerika die grösste Bewunderung.

61. Das Residuum oder der elektrische Rückstand. Wenn eine Leydener Flasche geladen und entladen wird, und dann eine Zeit lang sich selbst überlassen bleibt, so ergiebt sich, dass man beim abermaligen Entladen einen zweiten kleinen Funken bekommt. Es existiert in der That eine **zurückgebliebene Ladung** (Residuum), welche von dem Glase aufgesogen oder absorbiert zu sein scheint. Die Wiederkehr des Residuums wird beschleunigt, wenn man die Flasche ab und zu berührt. Die Menge des Residuums ist verschieden je nach der Zeit, die nach der Entladung der Flasche verstrichen ist; hängt auch von der Glassorte ab, aus welcher die Flasche verfertigt ist. In einem Luftkondensator kann man, wenn derselbe einmal entladen ist, kein Residuum entdecken.

62. Batterieen von Leydener Flaschen. Eine grosse Leydener Flasche giebt einen stärkern Schlag, als eine kleine, denn sie kann eine grössere Ladung aufnehmen; ihre Kapazität ist grösser. Eine aus *dünnem* Glase verfertigte Leydener Flasche hat als Kondensator eine grössere Kapazität als eine dicke Flasche von gleicher Grösse. Ist jedoch das Glas zu dünn, so wird die Flasche, wenn sie stark geladen wird, durch einen das Glas durchbohrenden Funken unbrauchbar. Gehärtetes Glas wird weniger leicht durchbrochen als gewöhnliches Glas, und deshalb können Leydener Flaschen, welche aus jenem gefertigt sind, entsprechend dünner sein und trotzdem eine grössere Ladung aushalten. Um das Durchbohren der Flasche durch einen Funken zu verhüten, muss man den obern Rand der innern Belegung mit dem mittleren Konduktor durch einen Streifen Folie oder durch eine Metallscheibe verbinden.

Soll eine Flasche *lange Funken* geben, so müssen die beiden Belegungen durch eine breite Fläche gefirnissten Glases von einander geschieden sein.

Wenn man jedoch eine sehr grosse elektrische Ladung an-

zuhäufen wünscht, so muss man mehrere Flaschen benutzen, und alle ihre innern Belegungen mit einander verbinden, und ebenso alle ihre äussern. Diese Anordnung heisst eine **Batterie von Leydener Flaschen** oder eine Leydener Batterie (Fig. 43). Da dieselbe eine grosse Kapazität hat, so ist eine grosse Elektrizitätsmenge erforderlich, um sie völlig zu laden. Geladen kann sie dann sehr kräftige Wirkungen hervorbringen; ihre Funke durchbohrt Glas ohne Weiteres, und man muss sich sehr in acht

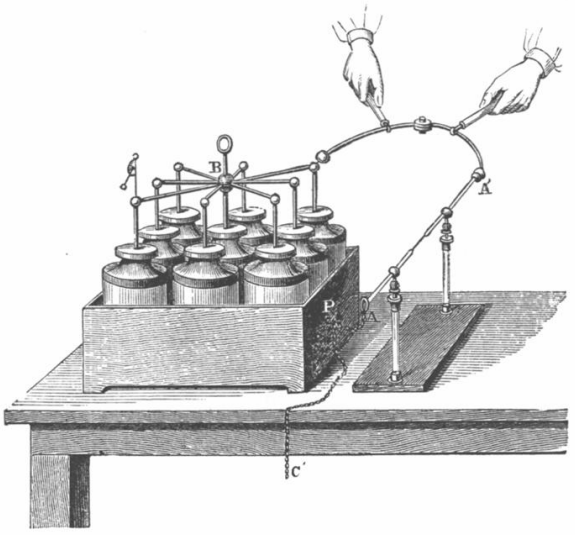

Fig. 43.

nehmen, dass der vom Funken herrührende Schlag nicht durch den Körper hindurchgeht, da derselbe tödlich sein könnte. Den Universal-Auslader, wie er bei der Leydener Batterie zur Anwendung kommt, zeigt die Figur.

63. Sitz der Ladung. Benjamin Franklin entdeckte, dass die Ladungen der Leydener Flasche in Wirklichkeit an der Oberfläche des Glases und nicht an den Metallbelegungen hafteten. Dies bewies er mittelst einer Flasche, deren Belegungen weggenommen werden konnten, Fig. 44. Die Flasche wurde

geladen und auf eine isolierende Unterlage gestellt. Die innere Belegung wurde dann in die Höhe gehoben und die Glasflasche aus der äussern Belegung herausgenommen. Doch keine Belegung war irgendwie elektrisch. Als die Flasche jedoch wieder zusammen gesetzt wurde, war sie wieder stark geladen. Die Ladungen waren während der ganzen Zeit auf der innern und äussern Fläche des dielektrischen Glases geblieben.

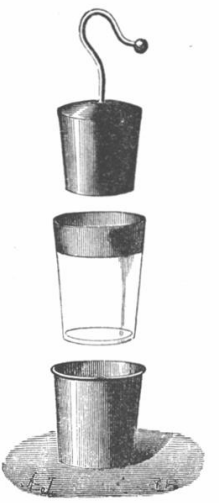

Fig. 44.

64. Dielektrische Spannung. Faraday bewies, dass das Medium, durch welches die Influenz stattfindet, in Wirklichkeit eine wichtige Rolle bei der Erscheinung spielt. Man weiss jetzt, dass alle dielektrischen Körper, durch welche Induktionskräfte wirken, dadurch *gespannt* werden[1]). Da ein gut luftleer gemachter Raum ein guter dielektrischer Körper ist, ist es klar, dass nicht notwendig die materiellen Moleküle des dielektrischen Körpers es sind, auf welche so eingewirkt wird; deshalb nimmt man an, dass die elektrischen Erscheinungen von den Druck- und Zugkräften und den Spannungen in dem sogenannten **Aether** herrühren, einem dünnen, feinen Medium, welches den ganzen Raum und alle Dinge durchdringt, und dessen höchst elastische Natur es befähigt, die Lichtschwingungen zu uns zu tragen, obgleich es viele Millionen mal dünner ist als die Luft. Da die Moleküle der Körper innig vom Aether umgeben sind, so teilen sich die Spannungen des Aethers auch den Molekülen der Körper mit, so dass auch diese eine Spannung erleiden. Das Glas zwischen den beiden Metallbelegungen bei der Leydener Flasche wird in der That zwischen den sich anziehenden elektrischen

1) In den exakten Wissenschaften bedeutet eine Spannung eine Veränderung der Gestalt oder des Volumens, herrührend von der Einwirkung eines *Stress*. Ein *Stress* ist die Kraft, der Druck oder irgend ein anderes Agens, welches eine Spannung erzeugt.

Ladungen gespannt oder gedrückt. Wenn eine isolierte, geladene Kugel in einem Zimmer aufgehängt wird, so wird eine ebenso grosse Menge der entgegengesetzten Elektrizität auf die innere Seite der Zimmerwände gezogen und die Luft zwischen der Kugel und den Wänden wird (elektrisch) **gespannt**, wie das Glas der Leydener Flasche. Wenn eine Leydener Flasche aus dünnem Glase angefertigt wird, so kommt es vor, dass sie unter der spannenden Kraft nachgiebt; und wenn eine Leydener Flasche entladen wird, so wird die Luftschicht zwischen dem Knopfe der Flasche und dem Knopfe des Ausladers um so mehr gespannt, je mehr dieselben sich einander nähern, bis zuletzt die spannende Kraft zu gross wird, so dass die Luftschicht nachgiebt und von dem Funken, welcher sich durch sie entladet, durchbohrt wird. Das Vorhandensein solcher spannenden Kräfte giebt uns eine Erklärung für die Residua der Leydener Flaschen, bei denen das Glas infolge seiner Zähigkeit sich nicht einmal von der Spannung, der es unterworfen war, erholt. Man darf nicht vergessen, dass die **elektrische Kraft durch den Raum hindurch wirkt infolge von Uebertragung der spannenden Kräfte in dem den Raum erfüllenden Medium.** In jedem Falle sammeln wir nicht Elektrizität, sondern *Energie* an. Es wird Arbeit verrichtet, wenn wir die Elektrizität von einer Stelle zur andern treiben, entgegen den Kräften, welche die Bewegung zu hindern suchen. Das Laden einer Leydener Flasche lässt sich mit dem Biegen einer Feder vergleichen, oder mit dem Hinaufpumpen von Wasser von einem niedrigen Niveau auf ein höheres. Beim Laden einer Flasche führen wir auf der negativen Seite genau so viel Elektrizität weg, wie wir auf der positiven zuführen, und hierbei wird Energie verbraucht. Diese aufgespeicherte Energie kommt dann bei der Entladung wieder zum Vorschein.

VII. VORLESUNG: *Weitere Quellen der Elektrizität.*

65. Am Schluss der ersten Vorlesung (Art. 12) bemerkten wir, dass **Reibung** keineswegs die einzige Quelle der Elektrizität ist. Wir wollen jetzt einige weitere Quellen aufführen.

66. Stoss. Ein heftiger Stoss zweier verschiedener Körper gegen einander erzeugt auf ihren Oberflächen Elektrizitäten entgegengesetzter Art. Man kann in der That eine Tabelle entwerfen, ähnlich der des Art. 6, in der Reihenfolge, dass jeder Körper, der von einem andern, weiter unten auf der Tabelle befindlichen gestossen wird, eine + Ladung erhält.

67. Vibration. Volpicelli zeigte, dass Schwingungen, die in einem mit Schwefel oder einer andern isolierenden Substanz überzogenen Metallstabe erregt wurden, eine Scheidung der Elektrizitäten an der Trennungsfläche des Metalls von dem Nichtleiter erzeugten.

68. Bruch und Spaltung. Wenn ein Kartenblatt im Dunkeln zerrissen wird, so bemerkt man Funken, und wenn man die getrennten Teile mit einem Elektroskop prüft, so findet man, dass dieselben elektrisch sind. Die mit Papier überzogene Leinwand, welche man zur Anfertigung von Papierkragen und starken Enveloppen gebraucht, zeigt dies recht deutlich. Wenn man im Dunkeln ein Stück Zucker mit den Zähnen zerbeisst, so bemerkt man bleiche Lichtflammen. Die plötzliche Spaltung einer Tafel von Glimmer bringt ebenfalls Funken hervor, und beide Platten zeigen sich elektrisch.

69. Krystallisation und Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand. Viele Körper erweisen sich elektrisch, wenn sie aus dem flüssigen in den festen Zustand übergehen. Giesst man Schwefel auf eine Glasschale und lässt denselben erkalten, so wird derselbe stark elektrisch, was man erkennen kann, wenn man die krystallinische Masse mit einem Glasstabe aushebt. Chokolade wird ebenfalls beim Festwerden elektrisch. Wenn Arseniksäure aus einer Lösung in Chlorwasserstoffsäure heraus krystallisiert, so ist die Bildung beider Krystalle von einem Lichtblitz begleitet, der ohne Zweifel von einer elektrischen Entladung herrührt. Eine merkwürdige Erscheinung hat man, wenn man Kupfervitriol und Kalium in einen Schmelztiegel giesst. Es wird fest, ohne elektrisch zu werden; wenn es sich dann aber etwas abkühlt, so zerspringt die krystallinische Masse in Stücke unter augenblicklicher Elektrizitätsentwicklung.

70. Verbrennung. Volta zeigte, dass Verbrennung Elektrizität erzeugt. Ein Stück brennende Holzkohle oder eine brennende Räucherkerze, wie sie zur Räucherung gebraucht wird, bringt die Blätter eines Goldblattelektroskopes, mit dessen Knopfe sie verbunden ist, zum Divergieren.

71. Verdampfen. Das Verdampfen von Flüssigkeiten ist häufig mit Elektrizitätserregungen verbunden, wobei die Flüssigkeit und der Dampf sich mit entgegengesetzten Elektrizitäten laden, allerdings nur dann, wenn die Flüssigkeit in Wallung ist. Einige Tropfen einer Kupfervitriollösung, in einen heissen Schmelztiegel aus Platina gegossen, erzeugen bei ihrer Verdampfung eine starke Elektrizitätserregung.

72. Atmosphärische Elektrizität. Die atmosphärische Luft erweist sich stets elektrisch im Vergleich zur Erde. Diese Elektrizität rührt, zum Teil wenigstens, von der über dem Meere stattfindenden Verdunstung her. Die atmosphärische Elektrizität wird in der 25. Vorlesung besonders behandelt.

73. Druck. Eine grosse Zahl von Körpern werden, wenn sie zusammengedrückt werden, auf ihrer Oberfläche elektrisch. Kork z. B. wird + elektrisch, wenn man ihn gegen Bernstein, Guttapercha oder Metalle drückt; dagegen — elektrisch, wenn man ihn gegen Spat oder animalische Körper drückt. Peclet fand, dass die Stärke der Elektrizität, welche beim Reiben zweier Körper an einander erzeugt wird, nicht von dem Druck und der Grösse der Berührungsflächen, sondern von dem Material und der Geschwindigkeit, mit der die Körper an einander vorbei bewegt werden, abhängig ist. Rollende Berührung und gleitende Reibung hatten denselben Erfolg.

74. Pyro-Elektrizität. Es giebt gewisse Krystalle, welche an bestimmten Stellen oder Polen elektrische Ladungen aufweisen, wenn sie erhitzt oder abgekühlt werden. Krystalle, die durch Erhitzung oder Abkühlung elektrisch werden, nennt man **pyro-elektrisch.** Der hauptsächlichste von ihnen ist der **Turmalin**, dessen Eigenschaft, nach der Erhitzung leichte Körper an seinen Enden anzuziehen, schon Jahrhunderte lang bekannt

war. Derselbe wird von Theophrast und Plinius unter dem Namen *Lapis Lyncurius* erwähnt. Der Turmalin ist ein hartes Mineral, und in dünnen Platten durchscheinend, von dunkelgrüner oder brauner Farbe, im natürlichen Zustande jedoch vollkommen schwarz und undurchsichtig; derselbe hat die Eigenschaft, das Licht zu polarisieren. Man findet ihn für gewöhnlich in etwas unregelmässigen dreiseitigen Prismen, welche im vollkommenen Zustande an beiden Enden zugespitzt sind. Er gehört zu dem Hexagonal-System, ist jedoch bloss hemiedrisch, d. h. die Seiten sind nur abwechselnd entwickelt. Seine Gestalt ist in Fig. 45 abgebildet, wo man neben einer vollständigen Ansicht noch die beiden Enden A und B besonders dargestellt sieht. Man wird bemerken, dass diese beiden Enden etwas von einander verschieden sind. Jedes besteht aus drei schiefen, in eine Spitze auslaufenden Flächen. Aber bei A gehen die Kanten dieser Flächen nach den Ecken des Prismas, während bei B die Kanten der Endflächen nach den Mitten der Längsseiten des Prismas führen. Das Ende A ist als der **analoge**, und B als der **antiloge** Pol bekannt. Steigt die Temperatur des Krystalls, so zeigt A +, B — Elektrizität; lässt man jedoch den Krystall nach der Erhitzung wieder erkalten, so ist die Polarität die umgekehrte; denn während des Sinkens der Temperatur ist B + und A —. Ist die Temperatur konstant, so beobachtet man gar keine elektrische Wirkungen, weder bei hoher, noch bei niedriger Temperatur; auch hört die Erscheinung auf, wenn man den Krystall über 150° C. erhitzt. Dies rührt jedoch nicht davon her, dass der Krystall bei jener Temperatur ein Leiter wird; denn sein Widerstand ist selbst bei jener hohen Temperatur noch so gross, dass er in Wirklichkeit zu den Nichtleitern gehört. Ein erhitzter Krystall aus Turmalin, den man an einem seidenen Faden aufgehängt hat, kann von elektrischen Körpern oder einem zweiten erhitzten Turmalin angezogen oder abgestossen werden, wobei zwei gleiche Pole sich abstossen, während zwei ungleiche Pole sich anziehen. Wird ein Krystall zerbrochen, so besitzt jeder Bruchteil wieder einen analogen und einen antilogen Pol.

Viele andre Krystalle ausser dem Turmalin sind mehr oder weniger pyro-elektrisch. Zu ihnen gehören Zinksilikate (elektrischer Galmei), Boracit, Rohrzucker, Quarz, *neutrales weinsaures Kali*, schwefelsaures Chinin und andre mehr. *Boracit* krystallisiert in der in Fig. 46 abgebildeten Gestalt, welche einen

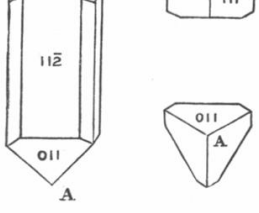

Fig. 45.

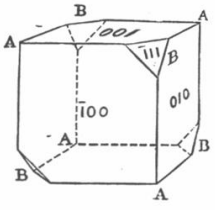

Fig. 46.

Würfel darstellt, der an 4 gegenüberliegenden Ecken abgestumpft ist. Die nicht abgestumpften Ecken verhalten sich wie analoge, die abgestumpften wie antiloge Pole. Wird ein hexagonales Prisma aus Quarz erhitzt, so zeigen seine 6 Kanten abwechselnd + und — Elektrizität.

75. Piezo-Elektrizität. Einige Krystalle lassen sich durch Druck nach einer gewissen Richtung elektrisieren. Hauy fand, dass ein Krystall von Kalkspat, zwischen den trockenen Fingern längs der stumpfen Kanten gedrückt, elektrisch wurde, und dass er seine Elektrizität einige Tage lang behielt. Er machte auch den Vorschlag, einen gepressten, aufgehängten Krystall als Elektroskop zu benutzen. Eine ähnliche Eigenschaft schreibt man dem Glimmer, dem Topas und dem Flussspat zu. Wenn man zwei gegenüberliegende Kanten eines 6-seitigen Quarzprismas zusammenpresst, so wird die eine +, die andere — elektrisch. Durch Druck werden auch entgegengesetzte Elektrizitäten an den entgegengesetzten Enden eines Krystalls von Turmalin erzeugt, sowie auch bei einigen andern Krystallen, welche in ihrer Struktur die Eigentümlichkeit der Quersymmetrie oder Hemiedrie aufweisen. Diesen Teil der Wissenschaft nennt man *Piezo-Elek-*

trizität. Quersymmetrie in der Struktur hängt bekanntlich von der molekularen Beschaffenheit ab und ohne Zweifel sind die pyro-elektrischen und piezo-elektrischen Eigenschaften, ebenso wohl wie das optische Verhalten dieser Krystalle im polarisierten Lichte eine Folge jener Eigentümlichkeit.

76. Tierische Elektrizität. Verschiedene Arten von im Wasser lebenden Tieren besitzen die Eigenschaft, auf physiologischem Wege elektrische Entladungen zu erzeugen. Am meisten bekannt von ihnen sind der *Torpedo*, der *Gymnotus* und der *Silurus*. Der **Raja Torpedo** [1]) oder elektrische Rochen, von welchem 3 Arten das Mittelländische Meer und den Atlantischen Ozean bewohnen, ist auf der Rückseite seines Kopfes mit einem elektrischen Organ versehen, wie es in Fig. 47 abgebildet ist. Dies Organ besteht aus dünnen, von polygonalen Zellen gebildeten Platten, 800 bis 1000 an der Zahl oder noch mehr, die mit 4 grossen Bündeln von Nervenfasern versehen sind. Die untere Seite des Fisches ist —, die obere + elektrisch. Bei dem **Gymnotus electricus** oder Surinam'schen Aal (Fig. 48) zieht sich das elektrische Or-

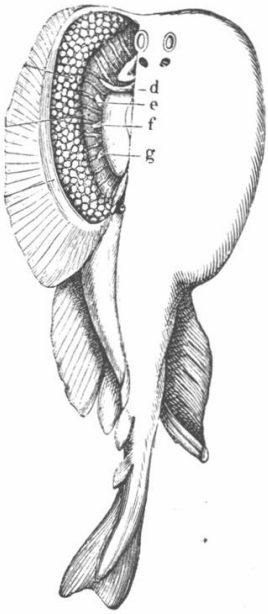

Fig. 47.

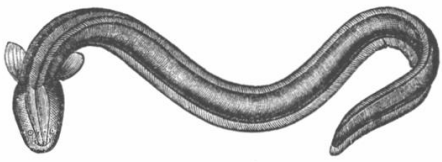

Fig. 48.

gan der Länge nach durch den ganzen Körper vom Schwanze

1) Es ist ein merkwürdiger Umstand, dass der arabische Name für torpedo, ra-ad, soviel bedeutet wie Blitz. Das ist jedoch vielleicht nicht so

bis zum Kopfe. Derselbe ist im Stande, einen höchst empfindlichen Schlag zu erteilen und ist ein furchtbarer Gegner, wenn er seine volle Länge von 5 bis 6 Fuss erreicht hat. Humboldt giebt uns eine lebhafte Schilderung der Kämpfe zwischen den elektrischen Aalen und den wilden Pferden, die von den Eingeborenen in die vom Gymnotus bewohnten Sümpfe getrieben werden. Bei dem Silurus fliesst der Strom vom Kopfe zum Schwanze.

Nobili, Matteucci und andre haben gezeigt, dass Nervenerregung und Muskelzusammenziehung auch beim Menschen schwache elektrische Ladungen zur Folge haben.

77. Elektrizität der Pflanzen. Buff glaubte Elektrizität zu entdecken, welche durch das Leben der Pflanze hervorgerufen würde; die Wurzeln und saftigen Teile seien — und die Blätter + elektrisch. Doch ist dies Gebiet noch wenig untersucht worden.

78. Thermo-Elektrizität. Wenn man zwei verschiedene, zusammengelötete Metalle an ihrer Verbindungsstelle *erwärmt*, so wird hier ein elektrischer Strom erzeugt. Dies Kapitel ist in der 35. Vorlesung unter *Thermo-elektrischen Strömen* behandelt.

79. Berührung ungleicher Metalle. Volta zeigte, dass die Berührung zweier ungleichen Metalle in der Luft entgegengesetzte Elektrizitäten erzeugte, indem die eine +, die andere — elektrisch wurde. Dieses bewies er auf verschiedene Art; einen der überzeugendsten Beweise lieferte er mit Hilfe seines *Kondensator-Elektroskopes.* Dasselbe bestand aus einem Goldblattelektroskop, mit welchem ein kleiner Kondensator verbunden war. Eine Metallplatte bildete den obern Teil des Elektroskopes, und auf sie war eine zweite, mit einem Handgriff versehene Metallplatte gesetzt, welche von der untern dadurch isoliert wurde, dass ihre Oberfläche sorgfältig gefirnisst war (Fig. 49). Da die Kapazität eines solchen Kondensators sehr gross ist, so kann eine sehr schwache Elektrizitätsquelle dem

merkwürdig, wie dies, dass die Electra in der Homerischen Erzählung gewisse Eigenschaften besitzen sollte, welche zu der Annahme berechtigten, sie wäre eine Personifizierung des Blitzes. Die Aehnlichkeit zwischen den Wörtern Elektra und Elektron (Bernstein) kann nicht zufällig sein.

Kondensator eine gewisse Menge Elektrizität zuführen, ohne dass sein Potential dadurch wesentlich erhöht oder die Goldblätter zum Divergieren veranlasst würden. Wird jedoch die obere Platte abgehoben, so nimmt die Kapazität der untern Platte beträchtlich ab und das Potential ihrer Ladung steigt, wie die Divergenz der Goldblätter anzeigt. Um mit dem Kondensator-Elektroskop zu beweisen, dass Berührung ungleicher Metalle Elektrizität erzeugt, nimmt man einen kleinen aus zwei ungleichen Metallen, z. B. Zink und Kupfer, zusammengelöteten Stab in die Hand, und berührt mit seinem einen Ende die untere Platte, während man die obere Platte mit dem Erdboden verbindet oder mit dem Finger berührt. Wenn die beiden entgegengesetzten Ladungen sich auf diese Weise in dem Kondensator angesammelt haben, entfernt man die obere Platte, und das Divergieren der Goldblätter lässt das Vorhandensein einer freien Ladung erkennen, welche dann nachher darauf hin untersucht werden kann, ob sie + oder — ist. Statt des Kupfer-Zink-Stabes lässt sich auch eine einzelne Volta'sche Zelle verwenden, welche man durch Kupferdrähte mit den beiden Platten verbindet. Lange Zeit wurde das Dasein dieser Berührungselektrizität in Abrede gestellt, oder vielmehr behauptete man, dass dieselbe (wenn sie in Volta'schen Verbindungen auftrat, wie sie in der 13. Vorlesung beschrieben sind) von chemischen Wirkungen herrühre; in Wirklichkeit jedoch rühren sowohl die Berührungselektrizität als auch die chemischen Vorgänge von den molekularen Beschaffenheiten der sich berührenden Körper her. Allerdings kennen wir bis jetzt noch nicht die genaue Natur derjenigen

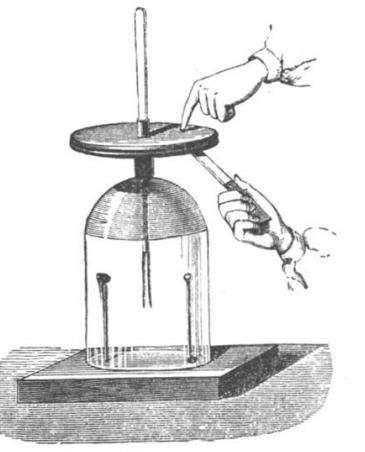

Fig. 49.

molekularen Beschaffenheiten, welche diese beiden Wirkungen zur Folge haben. Spätere Versuche, besonders die mit den empfindlichen Elektrometern von Kelvin angestellten, setzten die Richtigkeit der Entdeckung Volta's ausser Zweifel. Ein einfacher Versuch erklärt die befolgte Methode. Ein dünner Metallstreifen oder eine Metallnadel wird so aufgehängt, dass sie sich um einen Punkt C drehen kann. Durch eine bekannte Quelle wird sie elektrisiert. Unter sie stellt man zwei halbkreisförmige Scheiben oder Halbringe aus ungleichen Metallen (Fig. 50). Keiner von ihnen zieht die elektrisierte Nadel an oder stösst sie ab, bis die beiden Halbringe zur Berührung gebracht oder durch ein drittes Metall mit einander verbunden werden; in diesem Augenblicke dreht sich die Nadel, da sie von dem mit entgegengesetzter Elektrizität geladenen Metall angezogen und von dem mit derselben Elektrizität geladenen abgestossen wird.

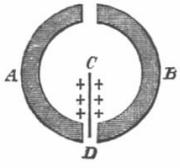

Fig. 50.

80. Kontaktreihe der Metalle (in der Luft). Volta fand ausserdem noch, dass die Differenzen des elektrischen Potentials zwischen den einzelnen Plattenpaaren nicht alle gleich gross waren. Während z. B. Zink und Blei nur höchst schwach +, resp. — elektrisch wurden, fand er, dass Zink und Silber bedeutend stärker +, resp. — elektrisch wurden. Er konnte die Metalle in einer Reihe so ordnen, dass jedes + elektrisch wurde, wenn es mit einem andern, weiter unten in der Reihe stehenden in Berührung kam. Die schräg gedruckten sind nach Beobachtungen, die nach Volta's Zeit angestellt wurden, hinzugefügt:

+ *Natrium.*	Kupfer.
Magnesium.	Silber.
Zink.	Gold.
Blei.	*Platin.*
Zinn.	— *Graphit (Kohle).*
Eisen.	

Obgleich Volta nur ganz rohe Näherungswerte gab, so sind die wahren numerischen Werte der Potentialdifferenzen für die

verschiedenen Metallpaare (in der Luft) doch erst in jüngster Zeit von Ayrton und Perry gemessen worden, deren Resultate sich z. T. in folgender Tabelle finden:

	Potentialdifferenz (in Volts)
Zink Blei	0,210
Zinn Eisen	0,069
Kupfer Platin	0,313
Kohle	0,146
	0,238
	0,113

Die Potentialdifferenz zwischen Zink und Kohle ist gleich der Summe aller dazwischen liegenden Potentialdifferenzen, also gleich 1,09 Volt [1]). Volta's Beobachtungen können daher in folgender allgemeiner Form zusammengefasst werden, welche als **Volta'sches Gesetz** bekannt ist: *Die Potentialdifferenz zweier beliebigen Metalle ist gleich der Summe der Potentialdifferenzen der in der Kontakt-Reihe zwischen ihnen stehenden Metalle.*

Es ist höchst wichtig zu bemerken, dass die Aufeinanderfolge der Metalle in der Kontakt-Reihe für Luft fast identisch ist mit derjenigen, wo die Metalle nach ihrer elektrochemischen Kraft geordnet sind, welche aus ihren chemischen Aequivalenten und ihrer Verbindungswärme mit Sauerstoff berechnet ist. (Man vergleiche die Tabelle im Art. 484). Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Potentialdifferenz zwischen einem Metalle und der es umgebenden Luft ein Mass ist für das Streben jenes Metalls, an der Luft oxydieren. Wenn dies der Fall wäre, und wenn die Luft ein schlechter Leiter wäre (wie sie es in der That ist), während die Metalle gute Leiter sind, so müsste folgen, dass, wenn 2 verschiedene Metalle sich berühren, sie

1) In betreff der Definition für Volt, oder Einheit der Potentialdifferenz sehe man Art. 349.

ihre eigenen Potentiale durch Leitung ausgleichen, dagegen in den Luftschichten, welche sie unmittelbar umgeben, ungleiche Potentiale zurücklassen. Alle genauen Versuche, die bis jetzt angestellt wurden, haben nicht die Potentialdifferenz der Metalle selbst gemessen, sondern diejenige der beiden Luftschichten, welche die Metalle unmittelbar umgeben. Es steht fest, dass in der Luft Eisen sich positiv, dagegen in einer Atmosphäre von Schwefelwasserstoffgas sich negativ zum Kupfer verhält. John Brawn hat neuerdings auf frisch gesäuberten Metalloberflächen das Vorhandensein einer Feuchtigkeitsschicht nachgewiesen und gezeigt, dass poliertes Zink und Kupfer wie eine Batterie wirken, wenn die sie überziehenden Feuchtigkeitsschichten zur Berührung gebracht werden.

81. Eine Potentialdifferenz wird auch durch die Berührung *zweier verschiedener Flüssigkeiten* erzeugt. Eine *Flüssigkeit und ein Metall* zeigen bei ihrer Berührung ebenfalls eine Potentialdifferenz, und wenn das Metall sich chemisch in der Flüssigkeit aufzulösen anfängt, so tritt eine elektromotorische Kraft auf, welche vom Metall zur Flüssigkeit gerichtet ist.

Die thermo-elektrische Potentialdifferenz an der Verbindungsstelle zweier Metalle ist in Wirklichkeit eine Kontaktdifferenz. Sie wird durch die Wärmemenge gemessen (vergl. Art. 415), welche beim Durchgange eines elektrischen Stromes durch die Verbindungsstelle erzeugt wird in umgekehrter Richtung.

Wird ein *heisses* Metall mit einem *kalten* Stück von demselben Metall in Berührung gebracht, so wird ebenfalls eine Potentialdifferenz erzeugt, wobei die Scheidung der Elektrizitäten an der Berührungsstelle stattfindet.

Kürzlich zeigte Professor J. J. Thomson, dass die Berührungsfläche zwischen 2 Nichtleitern, wie z. B. Siegellack und Glas, der Sitz einer permanenten Potentialdifferenz ist.

82. Magnet-Elektrizität. Man kann die Elektrizität als Ströme, welche in Drähten fliessen, auch dadurch erhalten, dass man geschlossene, leitende Drähte in der Nähe von Magneten bewegt. Hiervon handelt Art. 217.

83. Rekapitulation. Wir haben in den vorhergehenden Artikeln gesehen, wie fast alle denkbaren Kräfte Elektrizität in den Körpern erzeugen können. Die hauptsächlichsten unter ihnen sind Reibung, Wärme, chemische Wirkung, Magnetismus und die Berührung ungleicher Körper. Wir bemerkten, dass die Elektrizitätserregung durch Reibung hauptsächlich von der molekularen Beschaffenheit der Oberflächen abhängt. Wir können hier noch hinzufügen, dass die Potentialdifferenz, welche durch die Berührung ungleicher Körper erzeugt wird, ebenfalls sich nach der Temperatur und der Beschaffenheit des Mediums (Luft, luftleerer Raum etc.) in welchem die Versuche angestellt werden, richtet. Ohne Zweifel hängt diese Quelle auch von den molekularen Beschaffenheiten der verschiedenen Körper ab, da die Moleküle an den Oberflächen von verschiedener Grösse und Gestalt sind und mit verschiedenen Geschwindigkeiten und verschiedenen Intensitäten schwingen. Es bestehen gute Gründe (Art. 10) für die Annahme, dass die Reibungselektrizität in Wirklichkeit von der Berührungselektrizität herrührt, welche successive an den einzelnen Stellen ihrer über einander hinbewegten Oberflächen erzeugt wird. Von den molekularen Beschaffenheiten der Körper jedoch, welche die Erregung der Elektrizität bestimmen, da wo sie in Berührung kommen, weiss man bis jetzt wenig oder nichts.