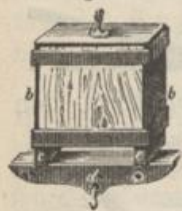


Übungsstoff. 1. Man will mittelst eines M a. aus kleinen Eisenringen, b. aus Stahlringen eine Kette herstellen. Wie ist dies auszuführen? Erkl.! —

Fig. 136.



2. Was würde eintreten, wenn man die Glieder der Kette bis zum Glühen erhitzte? — 3. Wie kann man mit einem M. untersuchen, ob eine Stricknadel, eine Messerklinge oder dergl. aus Stahl oder weichem Eisen besteht? — 4. Wie lassen sich an einem nach Fig. 132 magnetisierten Stabe mit Hilfe von Eisenfeilspänen oder mit einer Magnetnadel (nach Anleitung der Frage 8 des Übungsstoffes, § 38) die Punkte stärkster Anziehung, sowie die Indifferenzpunkte entdecken? — 5. Wie muß man eine Nadel mit einem M. streichen, damit die Spitze a. zum Nordpole, b. zum Südpole Magnetpolen zu erwarten, wenn etwa eine Stricknadel von den Enden nach der Mitte hin mit einem M. gestrichen würde (umgekehrt wie in der Figur angegeben ist)? — 7. Zur Magnetisierung eines Eisenstabes will man 2 Magnete zugleich anwenden. Wie läßt sich dies ausführen? — 8. Warum muß man bei dem durch Fig. 133 veranschaulichten Verfahren mit den Magneten im Bogen nach der Mitte zurückkehren? — 9. Durch das Anlegen eines Ankers von weichem Eisen wirkt bei einem Hufeisenmagnet der eine Pol auf den anderen ein. Erkläre dies und führe an, warum sich dasselbe nicht durch stählerne Anker ebenso gut erreichen läßt.

VII. Abschnitt.

Von der Elektrizität.

(Reibungs-Elektrizität.)

§ 40. Elektrische Grundversuche. Elektroskope.

Schon im Altertum beobachtete man am Bernstein, daß er, nachdem er gerieben worden, leichte Körperchen anzieht. Diese Eigenschaft erlangen aufser dem Bernstein noch viele andere Körper, z. B. Diamant, Glas, Harz, Schwefel u. s. w.; dieselben wurden von Gilbert, der (um 1600) ihr merkwürdiges Verhalten entdeckte, *elektrische Körper* genannt. Die *Kraft*, welche als Ursache der von den Körpern ausgeübten Anziehung zu betrachten ist, nennt man seit jener Zeit **Elektrizität**.¹⁾ Allmählich hat man erkannt, daß dieselbe eine der gewaltigsten Naturkräfte und vor allem auch die Ursache der Gewitterscheinungen ist.

***Grundversuche.** Ein Stab von Hartgummi oder Siegellack wird mit einem wollenen Lappen, ein Glasstab mit Seidenzeug oder Leder, das man mit Amalgam (einer Verbindung von Quecksilber, Zinn und Zink) bestrichen hat, gerieben. Es zeigen sich folgende Erscheinungen:

1. Der geriebene Stab zieht leichte Körperchen an (Papierschnitzel, Kügelchen von Sonnenblumenmark, Korkfeilspäne u. dgl.).

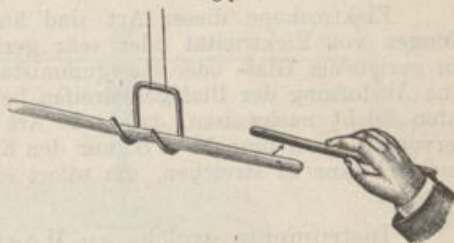
2. Die angezogenen Körper werden vom Stab nach kurzer Berührung wieder abgestoßen, sodafs sie zwischen diesem und der Tischplatte hin- und herfliegen.

¹⁾ ἤλεκτρον (elektron), Bernstein.

3. Annäherung eines Fingers an den geriebenen Stab bringt ein Knistern hervor; man bemerkt einen eigentümlichen Geruch und sieht im Dunkeln kleine Funken überspringen.

4. Wird der geriebene Stab horizontal so aufgehängt, daß er sich leicht drehen kann (Fig 137), und nähert man ihm sodann die Hand oder einen anderen Körper, so dreht er sich nach diesem hin. **Die Anziehung zwischen dem elektrischen und dem unelektrischen Körper ist somit eine gegenseitige.**

Fig. 137.



Die in den geriebenen Körpern hervorgerufene Kraft, welche sich durch gegenseitige Anziehung zwischen diesen und den unelektrischen Körpern, durch Knistern, Funkengeben u. s. w. äußert, nennt man **Elektricität**.

Elektroskope.

Um E. bequem und sicher nachweisen zu können, bedient man sich gewöhnlich besonderer Instrumente, welche **Elektroskope** genannt werden. Dieselben bilden in ihrer einfachsten Einrichtung entweder ein leichtes **Fadenpendel** (Kügelchen von Sonnenblumen oder Holundermark an seidenen Fäden, Fig. 138) oder ein stabförmiges **Horizontalpendel** (ein Strohalm oder ein Hartgummistäbchen, auf einer scharfen Spitze drehbar, Fig. 139). Bei Annäherung eines

Fig. 138.

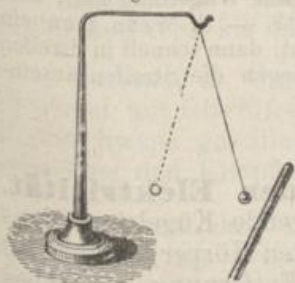


Fig. 139.

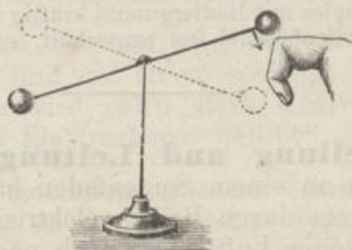


Fig. 140.



el. Körpers erfolgt eine Anziehung und nach der Berührung eine Abstofsung des Kugelchens oder, bei dem Elektroskope der zweiten Art, eine Drehung des Stäbchens. — Statt des einfachen Pendels wird auch das **el. Doppelpendel** angewandt, das aus 2 kurzen dünnen Leinenfäden mit Pflanzenmarkkugelchen (Fig. 140) oder 2 Stückchen von einem Strohalm oder dergl., oder aber (der größeren Empfindlichkeit wegen) aus 2 schmalen Streifen von dünnem Blattgolde oder Aluminium besteht, welche am unteren Ende eines Kupfer- oder Messingdrahtes dicht nebeneinander aufgehängt sind. Der Draht endigt oben in einer kleinen Metallkugel und ist gewöhnlich (bei Goldblättchen stets) im Gummistöpsel eines kleinen Glasballons so befestigt, daß die Pendel ganz im Ballon hängen und dadurch gegen Feuchtigkeit und

Luftzug geschützt sind. Wird der el. Körper der Kugel genähert oder mit ihr in Berührung gebracht, so schlagen die beiden Pendel auseinander.

Elektroskope dieser Art sind äußerst empfindlich und zeigen sehr kleine Mengen von Elektrizität oder sehr geringe Einwirkung derselben an; z. B. kann ein geriebener Glas- oder Hartgummistab schon in einer Entfernung von etwa 1 m eine Abstofsung der Blattgoldstreifen bewirken. Auch läßt sich mit diesen Apparaten leicht nachweisen, daß jede Art von Reibung in jedem Körper Elektrizität hervorruft, man braucht z. B. nur den Knopf des Elektroskops wiederholt mit einem Fuchsschwanz zu streichen, um sofort ein Auseinandergehen der Blättchen zu veranlassen.

Instrumente, welche zu Messungen der E. dienen, heißen **Elektrometer**. Diese sind im wesentlichen so eingerichtet, daß sie bei Einwirkung eines el. Körpers die Größe des Pendelausschlages in Graden eines Kreises angeben (vergl. Fig. 157).

Übungsstoff. 1. Vergleiche die Erschn. der el. Anziehung mit den entsprechenden magn. Erschn. — 2. Ein Blatt Papier bleibt an einem warmen Ofen nicht nur hängen, wenn man es an demselben einigemal mit trockener Hand streicht, sondern es gehört auch eine merkliche Kraft dazu, das Blatt vom Ofen wieder zu trennen. Erkl.! — 3. Fig. 141 stellt eine Ersch. dar, die sich

Fig. 141.



noch nachher (Frage 2) mit einem solchen Blatte hervorrufen läßt; welche? — 4. Welche Ersch. wird das Haar eines Menschen zeigen, wenn man dem Kopfe einen stark el. K. genügend nähert? — 5. Wenn man Katzen, welche längere Zeit neben einem warmen Ofen gelegen haben, über den Rücken streicht, so hört man oft ein Knistern. Wie mag sich dies erklären? — 6. Warum lassen sich mit einem el. Stabe Eisenfeilspäne von Spänen anderer Metalle nicht wie mit einem Magnet voneinander scheiden? — 7. Was wird eintreten, wenn man einen el. Stab über die Blätter eines aufgeschlagenen Buches oder unter eine Wagschale hält, oder dem feinen Wasserstrahle etwa eines Heronsballes nähert? — 8. Wenn man ein trockenes Blatt dünnes Papier mit Radiergummi kräftig reibt, dann schnell in Streifen zerschneidet und den Streifenbüschel frei emporhält, so fliegen die Streifen auseinander; warum wohl?

§ 41. Mitteilung und Leitung der Elektrizität.

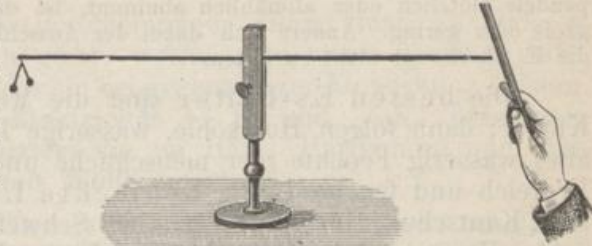
Versuch a. Wird das an einem Seidenfaden hängende Kügelchen eines Elektroskopes mit einem durch Reiben elektrisierten Körper berührt, so zeigt es sich (in trockener Luft) auch noch nach Entfernung des Stabes el. (siehe Fig. 138). Durch Berührung mit der Hand läßt sich die mitgeteilte E. wieder entfernen. — Auch wenn man von einem el. Körper auf einen anderen (Metallkugel mit einer Handhabe von Hartgummi oder Siegellack) einen Funken überspringen läßt, erweist sich der zweite Körper bei der Prüfung mit einem Elektroskop elektrisch.

Außer durch Reiben läßt sich ein Körper auch dadurch el. machen, daß man ihn mit einem el. Körper berührt oder beide einander soweit nähert, daß Funken überspringen: Elektrische Mitteilung.

Versuch b. Teilt man einem metallischen Körper von größerer Ausdehnung, etwa einem an den Enden abgerundeten Kupfer- oder Mes-

singdrahte (Fig. 142) in irgend einem Punkte E. mit, so wird er überall el., wenn er an seiner Befestigungsstelle etwa mit Kautschuk, Lack oder Seide umgeben ist und nicht durch Berührung mit dem Finger oder durch Metall, Holz, Hanfschnur oder dergl. mit dem Erdboden in Verbindung steht. Sobald eine derartige Verbindung hergestellt wird, verschwindet die E. überall wieder. Dagegen verliert ein el. Glas-, Hartgummi- oder Siegellackstab seine E. durch solche Berührung nur an der berührten Stelle.

Fig. 142.



Manche Körper vermögen die E. leicht aufzunehmen, schnell fortzuleiten und, wenn sie ableitend berührt werden, wieder vollständig zu verlieren (**gute Leiter**); andere werden durch Berührung mit einem el. Körper nur an der berührten Stelle el. und verlieren ihre E. bei ableitender Berührung auch nur an der berührten Stelle (**schlechte Leiter**.)

Aus Versuch b. folgt, *dafs ein guter Leiter, um el. Erscheinungen zeigen zu können, isoliert, d. h. mit Nichtleitern (Isolatoren) umgeben werden mufs*, damit die in ihm erregte Elektrizität nicht entweichen kann. Dies bestätigen folgende Versuche:

Versuch c. Man befestigt eine Kupfermünze an einer Siegellackstange und reibt sie mit Pelzwerk. Die Münze wird elektrisch. (Nachweis!)

Versuch d. Jemand, der auf einer isolierenden Unterlage steht (Schemel mit Glasfüßen) und mit einem seidenen Tuche oder mit einem Fuchsschwanz geschlagen wird, wird stark elektrisch, wie sich zeigt, sobald er den Knopf des Elektroskopes berührt.

Die Wichtigkeit der Isolatoren (Glas mit Schellacküberzug, Hartgummi u. s. w.) und ihre Bedeutung für alle elektrischen Apparate ist augenscheinlich. Ganz vollkommene Isolatoren, d. h. Körper, welche die E. überhaupt nicht leiten, giebt es indes nicht; selbst bei der besten Isolierung verliert ein el. K. seine E. im Laufe der Zeit an die ihn umgebenden Körper, z. B. an die Luft. Die Beschaffenheit der Luft ist überhaupt von größter Wichtigkeit für das Gelingen der el. Versuche, auf welches man mit um so größerer Sicherheit rechnen kann, je trockener die Luft ist; schon Gilbert bemerkte, dafs die Versuche bei vorhandener Feuchtigkeit nicht gelingen wollten. Da er den Unterschied von Leitern und Nichtleitern nicht kannte, so nahm er an, dafs sich in gewissen Körpern, z. B. in Metallen und Steinen, Elektrizität überhaupt nicht erregen lasse. Gray (1729) entdeckte den Unterschied der Leiter und Nichtleiter; es gelang ihm, eine elektrische Ladung durch eine an seidenen Fäden hängende Hanfschnur über 700 Fufs weit fortzuleiten, während die Fortleitung mißglückte, als einer der Seidenfäden zerrifs und durch einen Leinenfaden oder dünnen Draht ersetzt wurde.

Mit Hilfe eines leitenden el. Doppelpendels (Fig. 140 und 142) lassen sich beliebige Körper auf ihr el. Leitungsvermögen dadurch prüfen, daß man dem Pendel zunächst E. mitteilt und darauf den Draht, an welchem das Pendel aufgehängt ist, mit dem zu untersuchenden Körper berührt. Je nachdem der Ausschlag des Doppelpendels plötzlich oder allmählich abnimmt, ist das Leitungsvermögen des Körpers groß oder gering. Ändert sich dabei der Ausschlag nicht, so vermag der Körper die E. überhaupt nicht zu leiten.

Die besten E.s-Leiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer; dann folgen Holzkohle, wässrige Lösungen von Salzen, sowie alles wässrig Feuchte (der menschliche und tierische Körper, feuchtes Erdreich und feuchte Luft). Schlechte Leiter sind Bernstein, Siegelack, Kautschuk, Hartgummi u. s. w., Schwefel, manche Glassorten, Wolle, Seide, Haare und trockene Luft. — Einige Körper, wie Steine, trockenes Holz, Pflanzenfaser (Hanf), Papier u. a. m., bezeichnet man als Halbleiter.

Übungsstoff. 1. Eine glühende Kohle erkaltet schneller auf einer Metallplatte als auf Asche. Erkläre dies und führe Beispiele über el. Erschn. an, die sich damit vergleichen lassen. — 2. Warum umgiebt man die Handhaben metallener Gegenstände, welche zum Gebrauche erhitzt werden (Plätteisen u. s. w.), mit Holz, und warum versieht man el. Apparate von Metall mit Glasfüßen u. dgl.? — 3. Ein Fadenpendel mit Leinenfaden erscheint nach der Berührung mit einem el. K. stets unel., wenn es an einem Drahte hängt, welcher auf einem Holzfusse befestigt ist (Fig. 138), hingegen el., wenn der Fuß des Stativs aus Htg. oder der Faden aus Seide besteht. Erkl.! — 4. Wie erklärt es sich, daß ein am Leinenfaden aufgehängtes und durch den Fuß des Stativs isoliertes Kügelchen sich nach der Berührung mit dem el. Stabe schwächer el. zeigt als ein Kügelchen, das am Seidenfaden hängt? — 5. Was für Fäden müssen zu dem el. Doppelpendel (Fig. 140 und 142) benutzt werden, u. w.? — 6. Angenommen, man steckte auf die beiden Spitzen einer Magnetnadel ein kurzes Htg.-Stäbchen, auf welchem ein Holundermarkkügelchen befestigt sei. Liefse sich dieselbe dann statt eines el. Horizontalpendels benutzen, u. w.? — 7. Bei Annäherung eines Fingerknöchels werde das eine Kügelchen des Horizontalpendels (Fig. 139) aus geringerer Entfernung angezogen als das andere: was ist daraus zu schließen? — 8. Was ferner, wenn demselben unel. Kügelchen des Pendels nacheinander 2 el. K. langsam genähert werden und die Entfernungen in dem Augenblicke, in welchem eine Anziehung erfolgt, ungleich sind? — 9. Metall, Glas, Papier u. s. w. läßt sich am leichtesten durch Reibung el. machen, wenn man es vorher ein wenig erwärmt hat. Grund! — 10. In einem gefüllten Unterrichtszimmer gelingen el. Versuche zu Anfang der Stunde leichter als gegen Ende derselben. Erklärung!

§ 42. Positive und negative Elektrizität. Gleichzeitige Erregung beider Elektrizitäten.

Fig. 143.



Die Grundversuche (§ 40) ergaben, daß der elektrische Stab einen durch Berührung elektrisierten Körper abstößt. Daß jedoch eine solche Abstößung nur unter gewissen Bedingungen eintritt, zeigen folgende Versuche:

Versuch a. Wird von zwei mit Seide geriebenen Glasstäben der eine so unterstützt, daß er leicht drehbar ist (Fig. 143), und der andere darauf dem unterstützten Stabe genähert, so findet eine Abstößung statt. Dieselbe Erscheinung zeigen mit

Wolle geriebene Hartgummistäbe oder Siegellackstangen. Läßt man aber den el. Glasstab auf den el. Hartgummi- oder Siegellackstab oder umgekehrt diesen auf jenen einwirken, so tritt jedesmal eine Anziehung ein.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man an, daß es zweierlei Elektrizitäten giebt, welche man wegen ihres gegensätzlichen Verhaltens, das sie bei gegenseitiger Einwirkung äußern, als **positive** und **negative Elektrizität** (+E. und -E.) bezeichnet. Erstere ist die im Glase, letztere die im Harz, Hartgummi und ähnlichen Stoffen durch Reiben mit Wolle erregte E.

Gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Durch die el. Abstofsung läßt sich mittelst eines einfachen el. Pendels untersuchen, ob ein el. Körper + oder - el. ist, mittelst eines el. Doppelpendels, ob ein Körper el. oder unel. ist. (In welcher Weise?)

Versuch b. Wird ein leichtes Fadenpendel oder ein el. Doppel- oder Horizontalpendel durch Annäherung eines el. Stabes aus der Gleichgewichtslage gebracht, so läßt sich der Ausschlag durch Annäherung eines zweiten, gleichnamig el. Stabes vergrößern und durch Annäherung eines ungleichnamig el. Stabes verkleinern.

Die el. Wirkung wird durch die gleichnamige Elektrizität verstärkt, durch die entgegengesetzte Elektrizität dagegen geschwächt.

Die Verstärkung und Schwächung der el. Wirkung dient beim Doppelpendel-Elektroskope zur Untersuchung, ob ein Körper + oder - el. ist. Das Elektroskop wird zu diesem Zwecke vorher mit E. geladen. Wie hat man bei Annäherung des zu untersuchenden Körpers zu schließen?

Ähnliche Vorgänge, wie sie in den vorigen Versuchen beschrieben worden sind, wurden bald nach der Entdeckung der E.s-Leitung von Du Fay beobachtet (1733). Er nahm zu ihrer Erklärung zwei verschiedene Arten von E. an, die er als *Glas- und Harzelektrizität* bezeichnete nach den *Stoffen*, in denen er sie erregte. Später hat man die ursprüngliche Bezeichnung Glas- und Harzelektrizität mit der von Franklin vorgeschlagenen Unterscheidung in „*positive*“ und „*negative*“ E. vertauscht.

Da zur Erregung von E. die an einem Körper geleistete Arbeit der Reibung das Wesentliche ist, der Stoff, aus welchem der Körper besteht, aber nach obigem nur auf die Art der erregten E. einen Einfluß ausüben kann, so ist zu erwarten, daß bei den früheren Versuchen nicht nur der geriebene, sondern auch der reibende Körper el. wurde.

Versuch c. Wird ein Glasstab mit Seidenzeug kräftig gerieben, so zeigt sich letzteres bei Berührung der Kugel eines Goldblatt-Elektroskopes - el., das Glas + el.; vertauscht man den Glasstab mit einer Hartgummistange, so wird die Seide + el., die Hartgummistange - el.

Genauere Versuche lehren:

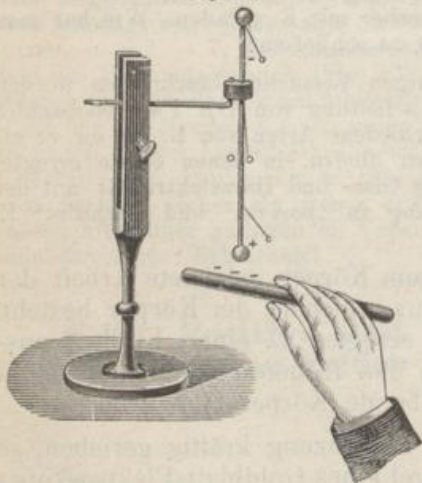
Wenn zwei ungleichartige Körper aneinander gerieben werden, so entwickeln sich stets beide Elektrizitäten, und zwar entsteht auf dem einen Körper stets ebensoviel + E., als auf dem anderen - E.

Bei den bisherigen Versuchen achtete man nur auf die E. des geriebenen Körpers; die des Reibzeuges wird gewöhnlich nicht wahrgenommen, da sie von der Hand des Experimentators nach der Erde entweicht.

Übungstoff. 1. Ein am Leinenfaden aufgehängtes Holundermarkkugeln wird, wenn das Stativ aus einem auf Holz befestigten Drahte besteht, bei Annäherung eines el. K. zwar angezogen, niemals aber wieder abgestoßen. Erkl! — 2. Wie muß die Aufhängung abgeändert werden, wenn auch eine Abstofsung erfolgen soll? — 3. Erkläre die Abstofsung, welche bei einem Doppelpendel eintritt, wenn man die Kugel des Elektroskopes mit dem el. K. berührt. — 4. Nähert man dem Fadenpendel oder dem Horizontalpendel (Fig. 139) eine isolierte Metallkugel, Münze oder dergl., welcher man E. mitgeteilt hat, so folgt auf die Anziehung jedesmal auch eine Abstofsung, während bei Anwendung des geriebenen Stabes (namentlich des Htg.-Stabes) die letztere Ersch. häufig nicht eintritt. Wie mag sich dies nach § 41 erklären? — 5. Man will bewirken, daß die beiden einander abstoßenden Kugeln eines el. Doppelpendels a. sich wieder nähern, b. sich noch weiter voneinander entfernen. Wie läßt sich dies ermöglichen, ohne daß man das Pendel berührt? — 6. Wie läßt sich mit dem Horizontalpendel untersuchen, ob ein K. + oder -el. ist, a. wenn ein mit Wolle geriebener Glasstab, b. wenn ein ebenso behandelter Htg.-Stab zu Hilfe genommen wird? — 7. Welches von den beiden Kugeln des Horizontalpendels würde, wenn das eine -el., das andere unel. wäre, durch einen +el. Stab bei gleicher Annäherung am stärksten angezogen werden? — 8. Gesetzt, man näherte dem Kugeln den el. Glas- und Htg.-Stab zugleich von derselben Seite: warum würde es dann falsch sein zu schließeln, beide Stäbe seien unel., wenn keine Anziehung erfolgte? — 9. Vergl. die Erschn., welche die entgegengesetzten Elektrizitäten bieten, mit den verwandten magn. Erschn.!

§ 43. Elektrische Verteilung (Influenz) und Ausgleichung. *Versuch a.

Fig. 144.



Nähert man dem einen Ende eines gut isolierten, stabförmigen und überall abgerundeten E.s-Leiters (Fig. 144), an welchem 3 leichte Fadenpendel befestigt sind, in trockener Luft etwa einen stark el. Hartgummistab, ohne daß Funken überspringen, so zeigen die Pendel folgende E.s-Erregung an: das abgewandte Ende des Leiters wird gleichnamig, das zugewandte Ende ungleichnamig el., während die Mitte unel. bleibt. (Prüfung durch Annäherung eines senkrecht gehaltenen el. Hartgummi- oder Glasstabes.) Eine sorgfältige Untersuchung läßt erkennen, daß die Stärke der E. von den beiden Enden des Leiters bis zu der indifferenten Stelle hin allmählich abnimmt.

Bei Entfernung des Stabes verschwindet die E. wieder. — Die Erscheinungen treten auch dann ein, wenn eine dünne isolierende Scheibe aus Glas, Hartgummi oder dergl. zwischen den Leiter und den E.s-Erreger gehalten wird. (Bei Anwendung eines +el. Glasstabes sind die Erscheinungen bis auf die Vertauschung der Elektrizitäten dieselben.)

Gute E.s-Leiter werden durch die bloße Annäherung eines el. Körpers elektrisch, und zwar tritt auf dem abgewandten Teile desselben

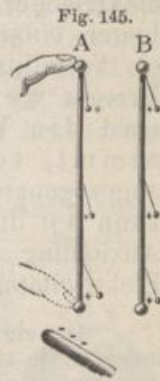
die gleichnamige, auf dem zugewandten Teile die ungleichnamige Elektrizität auf: Elektrische Verteilung oder Influenz.¹⁾

Vergleiche die elektrische mit der magnetischen Verteilung.

Durch geeignete Versuche läßt sich nachweisen, daß auch schlechte Leiter unter der Einwirkung eines el. Körpers el. werden. Dieser Vorgang findet jedoch nur ganz allmählich statt, auch bleiben solche Körper nach Entfernung des E.s-Erregers noch el.

Wenngleich es somit den Anschein hat, als ob el. Leiter und Nichtleiter sich unter der Einwirkung eines E.s-Erregers ähnlich verhalten, wie weiches Eisen und Stahl unter der Einwirkung eines Magnetpols, so besteht doch, wie folgende Versuche zeigen, ein wesentlicher Unterschied.

Versuch b. Berührt man den Leiter (A, Fig. 145) während der Einwirkung des —el. Stabes in irgend einem Punkte mit dem Finger, so fällt das obere Pendel wieder nieder und zeigt dadurch an, daß das abgewandte Ende des Leiters wieder unel. geworden ist. Man sagt, die abgestoßene E. sei durch den Finger abgeleitet. Der Ausschlag des unteren Pendels dagegen wird grösser und auch das mittlere Pendel macht einen kleinen Ausschlag. — Zieht man hiernach den Finger und gleich darauf auch den Stab wieder zurück, so verbreitet sich die +E. über den ganzen Leiter, was sich durch den Ausschlag aller Pendel und die Annäherung eines senkrecht gehaltenen +Stabes zu erkennen giebt.



Von den beiden durch Verteilung erregten Elektrizitäten ist die abgestoßene, gleichnamige E. ableitbar (**freie E.**), die angezogene, ungleichnamige E. wird von der E. des Erregers festgehalten (**gebundene E.**).

Bem. Die beiden Ausdrücke **frei** und **gebunden** sollen keinen wesentlichen Unterschied der beiden Elektrizitäten ausdrücken, denn wenn man nach Ableitung der abgestoßenen E. den E.s-Erreger entfernt, so wird die bis dahin als gebunden bezeichnete E. ebenfalls ableitbar oder frei. Die angezogene (**gebundene**) E. nennt man auch **Influenz-E.** der ersten Art, die abgestoßene (**freie**) dagegen **Influenz-E.** der zweiten Art.

Fig. 146.



Versuch c. Wird der E.s-Erreger dem unel. Leiter bis zur Berührung genähert, so verschwindet auf letzterem die angezogene ungleichnamige E. wieder, und der ganze Leiter wird gleichnamig el. (Sogen. *el. Mitteilung*.) Das untere Pendel fällt dabei zunächst nieder, schlägt darauf aber wie die übrigen Pendel stark aus (Fig. 146). Teilt man einem ebenso eingerichteten Leiter gleichviel entgegengesetzte E. mit, so werden beide Leiter wieder unel., wenn man sie miteinander berührt.

Zwei gute E.s-Leiter, welche gleichstark, aber entgegengesetzt el. sind, werden durch gegenseitige Berührung unel.; sind sie ungleichstark

¹⁾ influere, einfließen, sich Eingang verschaffen.

el., so bleibt nach der Berührung von der stärkeren E. ein Rest zurück.

(El. Ausgleichung.)

Fig. 147.



Durch die el. Verteilung wird es erklärlich, daß ein Doppelpendel-Elektroskop durch einen und denselben el. Körper sowohl mit der gleichnamigen (nach Fig. 146) als mit der ungleichnamigen E. (nach Fig. 145) geladen werden kann (in welcher Weise?). Letzterer Methode giebt man beim Laden der Goldblatt-Elektroskope den Vorzug (Fig. 147), da die Goldblättchen sonst leicht zerreißen oder die durch Berührung in dieselben getriebene E. leicht auf die innere Fläche der Glaswand übergeht, von wo aus eine nachteilige Rückwirkung erfolgen kann.

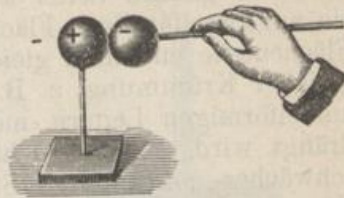
Nach dem Gesetz der el. Verteilung erscheint nicht nur die *el. Mitteilung* (siehe oben), sondern auch die *el. Anziehung und Abstofsung als eine Folge von der Wechselwirkung elektrischer Kräfte*. Wenn nämlich ein el. Körper und ein unel. Leiter einander genähert werden, so bewirkt jener in diesem eine el. Verteilung. Da nun die abgestofsene, gleichnamige E. vom E.-Erreger weiter entfernt ist als die angezogene, ungleichnamige E., und die Wirkung der el. Kräfte mit der Entfernung abnimmt, so überwiegt die *Anziehung*. Findet dabei zwischen der angezogenen E. und der E. des Erregers eine Ausgleichung statt, so kann auf die Anziehung eine *Abstofsung* folgen. Somit kann man die Anziehung und Abstofsung als Wirkung der in den Körpern erregten Elektrizitäten ansehen.

Da ein el. Körper genauen Versuchen zufolge von seiner E. nichts verliert, indem er in einem andern Körper durch Verteilung E. erregt, so ist man zu der Annahme genötigt, daß in allen Körpern von Natur beide Elektrizitäten an jeder Stelle gleichmäßig so vorhanden seien, daß sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. (Vgl. § 38.) — Ein unel. Körper geht hiernach in den el. Zustand über, wenn in ihm eine Trennung seiner eigenen Elektrizitäten stattfindet; er erscheint +el., wenn er einen Überschufs von +E. hat, -el., wenn er -E. im Überschufs enthält. Diese Trennung der Elektrizitäten kann nicht nur durch die el. Kraft selbst bei der el. Verteilung, sondern auch durch Reibung und andere Ursachen bewirkt werden.

Übungsstoff. 1. Wie läßt es sich erreichen, daß alle Pendel (Fig. 145) a. durch die gleichnamige, b. durch die ungleichnamige E. des Erregers ausschlagen? — 2. Was muß eintreten, wenn man den Leiter nach dem Ausschlage aller Pendel a. mit einem isolierten, b. mit einem nicht isolierten Metallkugelchen, c. mit einem Htg.-Stäbchen berührt, u. w.? — 3. Welche Änderung tritt bei einem isolierten Leiter ein, wenn an demselben ein stark el. K. vorbeigeführt wird? — 4. Desgl., wenn man dem Leiter den el. K. bis zur Berührung nähert und ihn dann wieder entfernt? — 5. Worin findet die Ersch. des Versuches a, Fig. 137, nach obigem ihre eigentliche Erklärung? — 6. Inwiefern hängt es vom Leitungsvermögen eines K. ab, ob durch einen E.-Erreger eine starke oder schwache el. Verteilung eintreten kann? — 7. Welchen Einfluß muß demnach das Leitungsvermögen eines K. darauf ausüben, wie stark letzterer von einem el. K. angezogen wird? — 8. Wenn man die Kugel eines nicht geladenen Doppelpendel-Elektroskopes mit einem schwach el. metallenen K. nur in einem Punkte berührt und den K. dann wieder entfernt, so behalten die Pendel ihre Stellung; sie gehen jedoch stets auf einen kleineren Ausschlag zurück, wenn man mit einem schwach el. schlechten Leiter ebenso verfährt. Erkl.! — 9. Erkläre folgende Erschu.: a. Bringt man einer von zwei sich berührenden Messingkugeln (Fig. 148, folg. Seite), welche gegen 2 cm dick und gut iso-

liert sind, den stark — el. Htg.-Stab möglichst nahe, ohne dafs Funken überspringen, und entfernt dann zunächst die vom Stabe abgewandte Kugel und gleich darauf auch den Stab, so ist diese Kugel — el., jene + el.; b. nähert man den Stab bis zur Berührung, so sind beide Kugeln — el.; c. verfährt man wie bei a, ohne die zweite Kugel zu entfernen, so sind nach Entfernung des Stabes beide Kugeln unel.

Fig. 148.



§ 44. Anordnung der Elektrizität auf einem Leiter. El. Spannung.

Wie sich der Grad des Wärmezustandes am sichersten nach der ausdehnenden Wirkung der Wärme beurteilen läßt (Steigen und Fallen des Quecksilbers im Thermometer), so läßt sich der Grad des el. Zustandes am besten nach der Stärke der Abstofsung gleichnamiger Elektrizitäten beurteilen (Ausschlag des Pendels eines Elektroskopes). Dafs der Grad des el. Zustandes eines Körpers ähnlich wie der Wärmegrad sehr verschieden sein kann, haben die früheren Versuche bereits gezeigt, desgl. dafs Nichtleiter der E. in verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche ungleichstark el. sein können. Wie sich in letzterer Beziehung gut leitende Körper verhalten, bedarf noch einer besonderen Untersuchung.

***Versuch.** Wird ein kleiner, isoliert aufgestellter Reifen aus glattem Kupfer-, Messing- oder Zinkblech (Fig. 149), in und auf welchem ein leichtes leitendes Doppelpendel als Elektroskop aufgehängt ist, etwa durch wiederholte Berührung mit dem el. Stabe möglichst stark el. gemacht, so schlägt nur das äufsere Pendel mehr und mehr aus. Bei genauer Untersuchung mittelst Probekügelchen und Elektroskop erscheint die Außenseite des Reifens namentlich an den Kanten el., während die Innenseite sich als unel. oder äufserst schwach el. erweist. (Überläßt man den elektrischen Reifen einige Zeit sich selbst, so wird er um so schneller wieder unel., je feuchter die Luft ist.) — Elektrisierte metallische Hohlkugeln sind ebenfalls nur an der Außenseite und zwar überall gleichstark el.

Fig. 149.



Auch bei massiven el. Körpern befindet sich die E. nur an der Oberfläche. Wird z. B. eine massive Metallkugel elektrisiert, und dann mit zwei genau auf dieselbe passenden metallenen, hohlen Halbkugeln umschlossen, so geht die ganze E. der massiven Kugel auf die Halbkugeln über. Entfernt man letztere gleichzeitig wieder, so sind diese el., die massive Kugel dagegen ist unel. — Aus derartigen Versuchen schließt man:

Wird ein guter Leiter mit E. geladen, so verbreitet diese sich nur auf der Oberfläche, nicht aber im Innern des Leiters. Die E. zeigt daher das Bestreben, sich vom el. Körper zu entfernen. Dieses Bestreben ist um so größer, je mehr E. sich an einem Punkte angesammelt hat.

Obige Erscheinungen erklären sich aus der Abstofsung gleichnamiger Elektrizitäten und dem äufserst geringen Widerstande,

welchen gute E.s-Leiter der Bewegung der E. entgegensetzen. Die einem Leiter in irgend einem Punkte mitgeteilte E. breitet sich hiernach stets über den ganzen Leiter aus und drängt nach außen. Hierbei erlangt sie auf kugelförmigen Flächen eine gleichförmige Dichtigkeit, d. h. gleiche Flächenteile enthalten gleichviel E., während die E. auf Flächen mit ungleicher Krümmung, z. B. auf Cylindern mit abgerundeten Enden oder auf eiförmigen Leitern, mehr nach den stärker gekrümmten Teilen gedrängt wird, sodass sie hier eine grössere Dichte erlangt als an den schwächer gekrümmten Stellen. Das Bestreben der E., sich vom el. Körper zu entfernen, muss daher bei einem isolierten guten Leiter mit der Stärke der Krümmung seiner Oberfläche zunehmen.

Der Druck, welchen die E., indem sie sich von einem el. Körper zu entfernen strebt, auf die nicht leitende Umgebung (z. B. die Luft) ausübt, wird el. Spannung genannt.

Durch die Spannung der E. lässt sich somit der el. Zustand eines Körpers messen, wie der Wärmezustand durch die Temperatur. Dieselbe E.s-Menge erzeugt auf einem kugeligen Leiter überall die gleiche Spannung (aber eine um so grössere, je kleiner die Oberfläche ist), auf ebenen Flächen die kleinste, an Ecken und Spitzen die grösste Spannung. Von letzteren geht daher die E. auch am leichtesten auf andere Körper über (Spitzenwirkung). Dies ist der Grund, warum man Leiter der E. zur Verhütung von E.s-Verlusten abrundet und mit glatter Oberfläche versieht.

Übungsstoff. 1. Was für einen Einfluss haben Ecken und Kanten an magn. und el. Apparaten auf die Brauchbarkeit? — 2. Wenn die Spitzen, Ecken oder Kanten eines el. Leiters nicht scharf sind, so ist bei schwacher Elektrisierung kaum ein E.s-Verlust merklich. Erkl.! — 3. Einem offenen Cylinder und einem Hohlkegel (beide aus Metall und isoliert) soll durch Berührung mit einem el. Leiter E. mitgeteilt werden. a. Ist es hierbei gleichgültig, in welchen Punkten die Berührung stattfindet, u. w.? b. Wie lassen sich die K. am besten auf ihre E. prüfen, wenn man einmal ein nicht geladenes Goldblatt-Elektroskop, ein andermal ein el. gemachtes Horizontalpendel anwendet? — 4. Zwei gleichgrosse isolierte Metallkugeln werden miteinander in Berührung gebracht, nachdem ihnen einmal gleiche Mengen, ein andermal ungleiche Mengen E. mitgeteilt worden ist (vgl. Fig. 148). Spannung der E. vor und nach der Berührung, wenn die Kugeln a. gleichnamig el., b. ungleichnamig el. gemacht sind? — 5. Zwei Metallkugeln von verschiedener Grösse soll E. mitgeteilt und die el. Spannung bei beiden gleich werden. Mengen der erforderlichen E.? — 6. Bei einem sehr empfindlichen, geladenen Goldblatt-Elektroskope nähern sich die Goldblättchen ein wenig, wenn man der Kugel einen ungeladenen Leiter sehr nahe bringt, und kehren bei Entfernung des Leiters wieder in ihre anfängliche Stellung zurück. Grund! — 7. Warum dürfen Metallkugeln zur Ansammlung von E. hohl sein oder aus einem nicht leitenden, mit Zinnblatt (Stanniol) überklebten Stoffe bestehen? Einfluss von Staub auf der Oberfläche derselben!

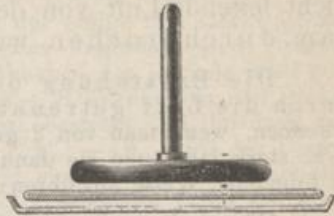
Elektrische Verstärkungs- und Ansammlungs-Apparate.

§ 45. Der Elektrophor. El. Funke. El. Rückschlag.

Um in einfachster Weise grössere Mengen von E. zu erhalten, lässt sich statt eines Stabes eine aus *Hartgummi* oder *Harzmasse* bestehende *Scheibe* anwenden, welche auf einem *Metallteller* liegt und nach ihrer

Elektrisierung mit einem überall abgerundeten *Deckel* aus Metall oder mit Stanniol überklebtem Holz bedeckt wird. (Fig. 150). Der Deckel ist zum Gebrauch des Apparates mit einer isolierenden Handhabe versehen. Ein solcher Apparat wird **Elektrophor**, d. h. Elektrizitätsträger, genannt.

Fig. 150.

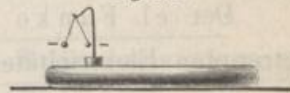


Versuche über die Wirkung des Elektrophors.

Versuch a. Legt man auf die mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell kräftig geschlagene Scheibe des Elektrophors den Deckel, indem man ihn ableitend berührt, und hebt ihn darauf wieder ab, so erhält man einen ziemlich kräftigen Funken, wenn man dem Rande des Deckels den Fingerknöchel oder eine mit dem Boden leitend verbundene Metallkugel (Funkenzieher) genügend nähert. Bei Wiederholung des Versuches entsteht immer von neuem ein Funke, ohne dafs die Scheibe noch einmal gerieben zu werden braucht. Zur Erklärung dienen folgende Versuche:

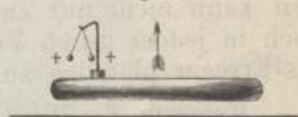
Versuch b. Man stelle auf den Deckel ein leichtes leitendes Doppelpendel (Fig. 151). Legt man ihn dann auf die geriebene Scheibe, ohne ihn ableitend zu berühren, so zeigt der Ausschlag des Pendels eine E.-Erregung an. Der Ausschlag erfolgt durch $-E$. (Nachweis!) Beim Abheben des Deckels fallen die Kügelchen des Pendels wieder zusammen.

Fig. 151.



Versuch c. Berührt man den Deckel, während er der Scheibe aufliegt, mit dem Finger, so fällt das Pendel plötzlich nieder; es schlägt aber, wenn man den Deckel hierauf, ohne ihn noch zu berühren, abhebt, wieder aus (Fig. 152) und zwar durch $+E$. (Nachweis!) Der Ausschlag nimmt mit der Entfernung zu.

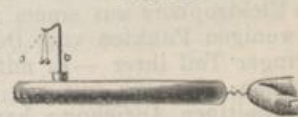
Fig. 152.



Wie ist nach Versuch b und c die Elektrisierung des Elektrophor-Deckels zu erklären? Dichtigkeit und Spannung der E . des Deckels: Nach Ableitung der $-E$. des Deckels konnte das Pendel keine el. Spannung mehr anzeigen, da die zurückgebliebene $+E$., wenngleich sie in genügender Dichtigkeit vorhanden war, durch die $-E$. der Scheibe gebunden wurde. Erst als diese Einwirkung der $-E$. durch das Abheben des Deckels mehr und mehr aufhörte, vermochte die Spannung der $+E$. allmählich zuzunehmen.

Versuch d. Nähert man wie bei Versuch a dem mit $+E$. geladenen Deckel etwa den Fingerknöchel, sodafs ein Funke überspringt, so zeigt das Niederfallen des Pendels eine plötzliche Abnahme der el. Spannung an (Fig. 153). Bei genauerer Untersuchung erweist sich der Deckel nur noch sehr schwach el.

Fig. 153.



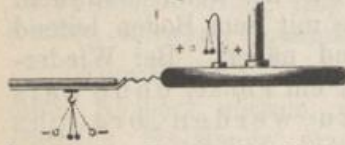
Diese Erscheinung erklärt sich nach § 43 dadurch, dafs die $+E$. des Deckels im genäherten Knöchel $-E$. anzieht und $+E$. abstößt, wie bei der Elektrisierung des Deckels in diesem durch die $-E$. der Scheibe

die ungleichnamige E. angezogen und die gleichnamige E. abgestoßen wurde. Indem der Finger sich dem Deckel mehr nähert, findet eine immer stärkere el. Verteilung statt, welche damit endigt, daß die nicht leitende Luft von den einander anziehenden Elektrizitäten gewaltsam durchbrochen wird, wobei diese sich vereinigen.

Die Entstehung des el. Funkens durch Vereinigung zweier durch die Luft getrennten Elektrizitäten giebt sich am deutlichsten zu erkennen, wenn man von 2 guten E.s-Leitern den einen mit +, den anderen mit -E. stark ladet und sie dann einander nähert. Dies läßt sich mit dem Elektrophor in folgender Weise ausführen:

***Versuch e.** Der geladene Elektrophor werde so auf eine isolierende Unterlage gelegt, daß ein Teil des Tellers zur Aufhängung eines leichten leitenden Doppelpendels freiliegt (Fig. 154). Hierauf leite man zunächst im Deckel und Teller die abgestoßene -E. ab, indem man beide mit dem Finger berührt. Hebt man dann den Deckel von der Scheibe ab, so wird im Teller durch stärkere Bindung von +E. von neuem soviel -E. frei, daß man einen kräftigen Funken erhält, wenn man den Deckel mit seinem

Fig. 154.



genügend nähert. Ein auf dem Deckel und unter dem Teller angebrachtes Doppelpendel zeigt eine plötzliche Abnahme der el. Spannungen an.

Der el. Funke entsteht dadurch, daß die beiden durch die Luft getrennten Elektrizitäten sich plötzlich miteinander vereinigen.

Die gewaltsame Vereinigung entgegengesetzter Elektrizitäten zwischen zwei el. Körpern heißt Entladungsschlag, die größte Entfernung, in welcher sie erfolgt, Schlagweite.

Eine plötzliche Vereinigung getrennter Elektrizitäten kann nicht nur zwischen zwei el. Körpern eintreten, sondern muß auch in jedem durch Verteilung elektrisierten Leiter erfolgen, wenn der E.s-Erreger plötzlich zu wirken aufhört.

Versuch f. Wird einem Goldblatt-Elektroskope der elektrisierte Deckel des Elektrophors genähert, so erhält man einen immer größer werdenden Ausschlag, welcher nicht nur durch schnelle Entfernung, sondern auch bei Funkenentladung des Deckels plötzlich wieder verschwindet. (Erklärung!)

Die plötzliche Wiedervereinigung durch Verteilung getrennter, entgegengesetzter Elektrizitäten eines Leiters wird el. Rückschlag genannt.

Der Elektrophor oder Elektrizitätsträger verdankt seinen Namen der Eigenschaft, die E., wenn der Deckel aufgesetzt und der Teller nicht isoliert ist, in trockener Luft tage-, selbst wochenlang zu bewahren. Da die Scheibe des Elektrophors aus einem nicht leitenden Stoffe besteht und genau genommen nur in wenigen Punkten vom Deckel berührt wird, so kann sich nämlich nur ein sehr geringer Teil ihrer -E. mit der von letzterer angezogenen +E. des Deckels ausgleichen; dasselbe gilt von der aus dem Teller angezogenen -E. Infolge dieser gegenseitigen Anziehung kann die E. der Scheibe nicht entweichen. — Der Elektrophor wurde 1775 von dem Italiener Volta erfunden.

Übungstoff. 1. Welcher wesentliche Unterschied besteht zwischen den Teilen des Elektrophors in Bezug auf ihr Leitungsvermögen? — 2. Die Funken, welche die Scheibe selbst liefert, sind im Vergleich zu denjenigen des Deckels nur

sehr schwach. Erkl.! — 3. Warum nimmt im Deckel die Spannung der $-E.$ zu, indem man den Deckel der Scheibe nähert (Fig. 151), die der $+E.$ aber, indem man ihn weiter von der Scheibe entfernt (Fig. 152)? — 4. Warum muß der Deckel des Elektrophors überall abgerundet sein? — 5. Warum braucht der Teller nicht ebenso eingerichtet zu sein? — 6. Dünne, etwa nur einige mm starke Deckel sind weniger brauchbar als Deckel, welche wenigstens fingerdick sind; warum wohl? — 7. Warum läßt sich zum Auflegen und Abheben des Deckels statt seidener Schnüre nicht gewöhnlicher Bindfaden benutzen? — 8. Wenn man den Deckel mit Korkstückchen, Holundermarkkugeln oder dergl. bestreut und ihn dann auf die geriebene Scheibe legt, so fliegen dieselben fort. Erkl.! — 9. Wird der Deckel beim Autlegen ableitend berührt, so tritt die Ersch. erst ein, wenn man ihn abhebt; w.? — 10. Wo bleibt die im Teller erregte freie $-E.$, a. wenn der Teller auf einer leitenden Unterlage liegt, b. wenn die Unterlage nicht leitet? — 11. Wird die geriebene Scheibe des Elektrophors, ohne daß der Deckel daraufliegt, mit mehreren Fingerspitzen zugleich berührt, so hört man ein nur schwaches Knistern, wenn der Teller entfernt ist. Wie wirken demnach die Elektrizitäten dieser beiden Teile, solange letztere sich berühren, aufeinander ein? — 12. Die nicht mit dem Deckel bedeckte Scheibe wird an der Luft nicht so schnell unel., wenn der Teller darunter liegt, als wenn er fehlt; der Elektrophor bleibt am längsten el., wenn die Scheibe zwischen Teller und Deckel liegt. Grund! — 13. Warum nähert man dem Deckel des Elektrophors beim Funkenziehen den Fingerknöchel und nicht die flache Hand, desgl. bei Versuch e (Fig. 154) dem Rande des Tellers den Rand des Deckels? — 14. Warum kann man das öfterer wiederholte Entziehen von Funken aus dem Elektrophor nicht mit dem Wassers schöpfen aus einem Brunnen vergleichen?

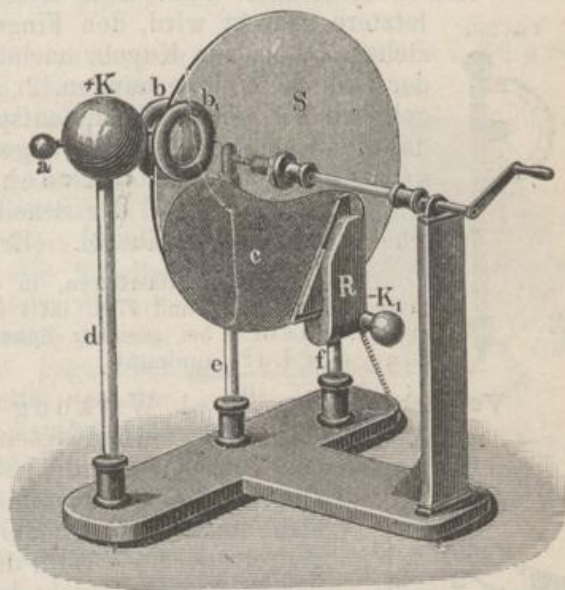
§ 46. Die Elektrisiermaschine. Spitzenwirkung.

Doppelinfluenz. 1. Reibungs-Elektrisiermaschine.

Das bequemste Verfahren, große Mengen von $E.$ durch Reibung hervorzurufen, besteht darin, daß man eine Glasscheibe zwischen zwei Reibkissen mittelst einer Kurbel dreht (Fig. 155). Ein solcher Apparat wird **Reibungs-Elektrisiermaschine** genannt. Die Hauptteile derselben sind: 1) die drehbare Scheibe (S), 2) das festliegende Reibzeug (R) und 3) der Konduktor oder Ansammler (K und K_1). Der Isolierung wegen bestehen die Achse der Scheibe sowie die Stützen für Konduktor und Reibzeug aus Glas oder Hartgummi.

Das Reibzeug ist aus zwei Lederkissen zusammengesetzt, welche mit Amalgam, d. h. mit einer Mischung aus Qu. und Zink oder aus Qu., Zinn und Zink überstrichen sind. (Diese Mischung wirkt kräftiger als ein wollener oder seidener Lappen.) Beim Drehen der Scheibe wird diese $+el.$, das Reibzeug $-el.$ Gewöhnlich wird die $+E.$ benutzt, während man die $-E.$, damit sie nicht durch Bindung der ungleich-

Fig. 155.



namigen E. nachteilig wirkt, mittelst einer Kette zur Erde leitet. Die $+E.$ der Scheibe läßt man verteilend auf Metallspitzen einwirken

Fig. 156.



(Fig. 156), welche in zwei Ringen befestigt und mit dem Konduktor (K) leitend verbunden sind. Dieser besteht meist aus einer Hohlkugel von Messing. Damit die Scheibe bei ihrer Drehung auf dem Wege vom Reibkissen bis zu diesen Spitzen keine E. verliert, ist sie an dieser Stelle beiderseits durch einen ihr anliegenden Lappen von Wachstaffet (c) geschützt. Die aus den Spitzen gezogene $-E.$ vereinigt sich mit der $+E.$ der Scheibe, sodafs im Konduktor freie $+E.$ zurückbleibt. Häufig sind auch die Reibkissen durch Stanniolstreifen mit einem besonderen Konduktor (K_1) leitend verbunden. Will man die in demselben sich ansammelnde $-E.$ benutzen, so verbindet man den Scheibenkonduktor leitend mit der Erde.

Versuche über die Wirkung der Elektrisiermaschine.

Versuch a. Nachweis des el. Zustandes von Reibzeug, Scheibe und Konduktor mittelst des Elektroskopes. — Ein Goldblatt-Elektroskop giebt schon in ziemlich großer Entfernung vom Konduktor einen Ausschlag.

Der Raum um einen el. Körper, innerhalb dessen der Körper el. Erscheinungen hervorruft, wird el. Atmosphäre genannt.

Versuch b. Nähert man dem Konduktor der Scheibe, während letztere gedreht wird, den Fingerknöchel oder einen Funkenzieher (Draht mit Kugel), nachdem man 1) das Reibzeug mit der Erde leitend verbunden, 2) diese Verbindung wieder aufgehoben hat, so entstehen (entsprechend der Stärke der durch das Elektrometer, Fig. 157, angezeigten Spannung) im 1. Falle starke, im 2. nur schwache Funken. Werden Reibzeug und Konduktor der Scheibe leitend verbunden, so erscheint nur die Scheibe el. (Erklärung!)

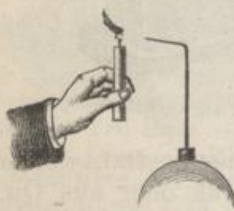
Fig. 157.



Mit Hilfe von Glasröhren, in denen die Luft verdünnt werden kann (siehe Fig. 12 und 171), läßt sich nachweisen, dafs die Länge der el. Funken bei gleicher Spannung der E. mit der Verdünnung der Luft zunimmt.

Versuch c. Um die el. Wirkung von Metallspitzen (vgl. Fig. 156) nachzuweisen, halte man dem Ende eines auf dem Konduktor befestigten zugespitzten Drahtes (Fig. 158) eine Flamme gegenüber. Letztere neigt sich stark von der Spitze weg, sobald die Scheibe gedreht wird. — Wird dem Konduktor ein mit Spitzen versehener und nicht isolierter Leiter ziemlich nahe so gegenübergestellt, dafs die Spitzen dem Konduktor zugewandt sind, so zeigt sich letzterer nur sehr schwach el. Dies führt zu dem Schlusse:

Fig. 158.



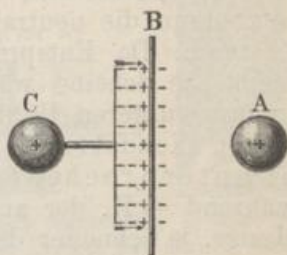
Aus Spitzen strömt die E. leicht aus. Steht ein el. Körper leitenden Spitzen gegenüber, so strömt aus diesen von den beiden durch Ver-

teilung erregten Elektricitäten die angezogene, ungleichnamige aus und vereinigt sich mit der E. des Erregers.

Flammen und Rauch bewirken in der Nähe eines elektrisierten Leiters ebenfalls eine allmähliche Entladung.

2. Influenz-Elektrisierungsmaschine. Sie unterscheidet sich von der Reibungs-Elektrisierungsmaschine dadurch, daß die E. nicht durch Reibung, sondern durch Verteilung (sogen. Doppelinfluenz) erregt wird. Stellt man nämlich einem etwa $+el.$ Körper (A) einen mit Spitzen versehenen Leiter (C, Fig. 159) gegenüber, so strömt bei genügender Stärke der E. aus den Spitzen des Leiters auch dann noch $-E.$ aus, wenn zwischen den Spitzen und dem el. Körper eine dünne, schlecht leitende Scheibe (B) eingeschaltet wird. In der Scheibe findet dabei auch eine el. Verteilung statt. Stehen nun die Metallspitzen von der Scheibe nur sehr wenig ab, so ist (dem Leitungsvermögen dieser beiden Körper entsprechend) die E.s-Erregung im Leiter bedeutend stärker als in der Scheibe.

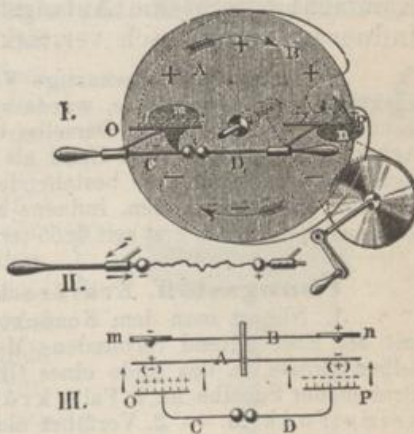
Fig. 159.



Die E. des Leiters strömt dann aus den Spitzen auf die Scheibe über. Hierbei vereinigt sich die abgestoßene $+E.$ der Scheibe mit ebensoviel $-E.$, sodafs auch diese Seite der Scheibe $-el.$ wird. Würde nun der Leiter mit der Erde leitend verbunden und die Scheibe gedreht, so würde diese auf einer immer größeren Fläche $-el.$ werden.

Die *Influenz-Elektrisierungsmaschine* besteht aus 2 dünnen Glasscheiben (A und B, Fig. 160), welche einander parallel und sehr nahe gegenüberstehen, und von denen die eine vor der anderen sehr schnell gedreht werden kann. Die feststehende Scheibe (B) ist an 2 Stellen tief ausgeschnitten. Neben diese Ausschnitte sind auf die Scheibe 2 Stückchen Papier geklebt, die mit ihrer Spitze in die Ausschnitte hineinragen. Den Papierbelegen gegenüber stehen auf der anderen Seite vor der drehbaren Scheibe die Kammspitzen (O und P) zweier messingenen Konduktoren, deren vordere stabförmige Teile (C und D) in eine Kugel endigen und gegeneinander verschoben werden können.

Fig. 160.



Zum Gebrauche der Maschine schiebt man die Kugeln zunächst aneinander und teilt dann, während die Scheibe gedreht wird, einem der beiden Papierbelege mit einem geriebenen Glas- oder Htg.-Stabe E. mit. Ist das Papier (n) etwa $+el.$ gemacht, so sammelt sich (durch Doppelinfluenz) auf beiden Seiten der Scheibe den zugehörigen Spitzen gegenüber $-E.$ an. Die in den beiden Konduktoren abgestoßene $+E.$ wird aus den anderen Spitzen gegen die Scheibe getrieben. Da sie zu-

gleich auf den Papierbeleg (m) verteilend einwirkt, so wird die Scheibe hier beiderseits $+el.$ Diese Vorgänge wiederholen sich bei der Drehung der Scheibe an allen Stellen derselben, welche an den beiden sogen. Saugkämmen vorbeigehen, und setzen sich auch dann noch fort, wenn dem Papierbelege keine E. mehr mitgeteilt wird. Nach einer halben Umdrehung ist die Scheibe beiderseits in einem ringförmigen Streifen von der Breite der Saugkämme $el.$ und zwar ist der untere Halbring $-el.$, der obere $+el.$ Bei weiterer Drehung tritt jeder Halbring mit seinem vorderen Ende vor die Spitzen des betreffenden Saugkammes und verstärkt hier das Ausströmen der ungleichnamigen E. Letztere gleicht sich zum Teil mit der E. des Halbringes aus und versetzt dann die neutralisierte Stelle desselben in den entgegengesetzt $el.$ Zustand. Da Entsprechendes bei beiden Saugkämmen stattfindet, so bleibt die Scheibe während der Drehung in ihrer oberen Hälfte $+el.$, in ihrer unteren Hälfte $-el.$ Entfernt man schliesslich die Kugeln der beiden Konduktoren voneinander, so entsteht zwischen denselben ein ununterbrochener Funkenstrom, da dann der einen Kugel fortwährend $-E.$, der anderen $+E.$ zufließt und zwar in um so größerer Menge, je schneller die Scheibe A gedreht wird.

Die Influenz-Maschine übertrifft in ihrer Wirkung ganz bedeutend die Reibungs-Elektriermaschine und kann mit einer kleinen Anfangsladung durch fortdauernd stattfindende Influenz sehr beträchtliche E.s-Mengen erzeugen. Die Wirkung wird durch verschiedene, hier nicht beschriebene Nebenvorrichtungen noch verstärkt. Bemerkenswert sind die neuerdings sehr verbreiteten Influenz-Maschinen mit Selbstladung, bei denen durch Reibung von Metallknöpfen an Metallbürsten (erstere sind an der rotierenden Scheibe angebracht, letztere an den Kämmen) eine kleine Anfangsladung vermittelt wird, welche sich durch Influenzwirkung rasch verstärkt.

Die erste maschinenartige Vorrichtung, welche zur Entwicklung größerer Elektrizitätsmengen diente, wurde von Otto v. Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, 1560 hergestellt. Derselbe befestigte eine Schwefelkugel auf einer drehbaren Achse und gebrauchte die Hand als Reibzeug. Die erste vollkommene, aus Scheibe, Reibzeug und Konduktor bestehende Elektriermaschine wurde erst ungefähr hundert Jahre später erfunden. Influenz-Elektriermaschinen (auch Elektrophor-Maschinen genannt) kennt man erst seit 1865 (erfunden von Holtz und gleichzeitig von Töpler).

Übungsstoff. Erkläre die Erscheinungen folgender Versuche:

1. Nähert man dem Konduktor der Elektriermaschine nacheinander a. eine mit der Erde leitend verbundene Metallkugel, b. eine isolierte Metallkugel von derselben Größe, c. das Ende eines Glas-, Sg.- oder Htg.-Stabes, so erhält man beim Drehen der Scheibe im 1. Falle kräftige, im 2. schwache und im 3. fast gar keine Funken. — 2. Verfährt man ebenso mit 2 ungleichdicken, nicht isolierten Metallkugeln, so erhält man bei gleichen Abständen durch die kleinere Kugel zahlreiche kleine Funken, durch die größere Kugel eine geringere Anzahl größerer Funken. Die Stärke der Funken nimmt mit der Schlagweite zu. Ein auf dem Konduktor befestigtes Pendel fällt bei jedem Funken um so mehr zurück, je stärker der Funke ist. (Bei der Erkl. ist die Stärke der Krümmung der Kugel und die Menge der E. zu berücksichtigen.) — 3. Auf den Konduktor gelegte leichte Kügelchen fliegen fort, sobald man die Scheibe dreht. — 4. Ein aus dünnem Blech bestehendes Kreuz (Fig. 161), dessen (gegen 5 cm lange) Arme in seitlich umgebogene Spitzen auslaufen, dreht sich auf dem Konduktor wie ein Reaktionsrad (sogen. $el.$

Fig. 161.



Flugrad). — 5. Hält man nahe vor den Konduktor ein nicht isoliertes Stück Blech, auf dem ein kleines Fadenpendel (mit Seidenfaden) hängt, so bewegt sich letzteres wiederholt mit großer Geschw. gegen den el. Konduktor hin und wieder zurück (Fig. 162). Der Ausschlag eines auf dem Konduktor angebrachten Doppelpendels wird dabei, wenn die Scheibe nicht mehr gedreht wird, immer kleiner. — 6. Isoliert man das Blech oder vertauscht man es mit einer Htg.-Scheibe, so tritt diese Ersch. nicht ein. — 7. Bringt man das obere, mit einer Metalleinfassung versehene Ende einer schlecht leitenden Glasröhre (Fig. 163) oder Glasscheibe, welche in sehr kurzen Abständen mit zahlreichen kleinen, rautenförmigen Stannioblättchen beklebt ist, mit dem Konduktor in Berührung, während man das untere Ende mit dem Finger ableitend berührt, so springen zwischen sämtlichen Blättchen zahlreiche kleine Funken über. (Blitzröhre, Blitztafel.) — 8. Hält man die (nicht geriebene) Htg.-Scheibe des Elektrophors mit darauf liegendem Deckel nahe über den Konduktor (Fig. 164), so giebt ein auf dem Deckel befestigtes Doppelpendel (mit Leinenfäden) durch + E. einen Ausschlag, sobald die Maschine gedreht wird. — 9. Werden hierauf Scheibe und Deckel aus der el. Atm. entfernt, so erhält man, nachdem man den Deckel ableitend berührt und darauf von der Platte abgehoben hat, abermals einen Ausschlag, aber durch - E. — 10. Läßt man eine Person auf einen Isolierschemel treten (Brett mit Glas- oder Htg.-Füßen) und den Konduktor mit der Hand berühren, so erhält man einen Funken, wenn man irgend einem Körperteile der Person mit dem Fingerknöchel nahe genug kommt; dieselbe kann mit einer Fingerspitze das einem metallenen Brenner entströmende Leuchtgas entzünden, ihre Haare sträuben sich u. s. w.

Fig. 162.

Fig. 163.

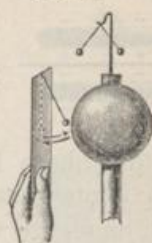
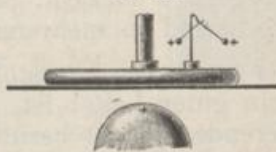


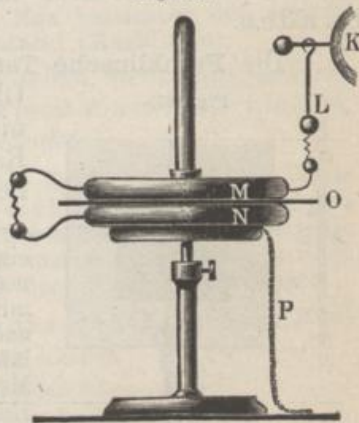
Fig. 164.



§ 47. Ansammlung von Elektrizität. Kondensatoren.

*Versuch a. Läßt man auf den Deckel des nicht elektrisierten Elektrophors, nachdem man den Teller desselben mit der Erde leitend verbunden hat, vom Konduktor der Elektrisiermaschine Funken überschlagen, so springen in größeren Pausen zwischen den Rändern der beiden Metallplatten an verschiedenen Stellen ebenfalls Funken über, welche weit kräftiger und bedeutend heller sind als jene. Wendet man zwei Metallplatten an, welche am Rande mit einem kugelförmig endigenden Drahtfortsatze versehen und durch eine Hartgummiplatte isoliert sind (M und N, Fig. 165), so läßt sich durch eine geeignete Stellung der Platten bewirken, daß die stärkeren Funken nur zwischen den Kugeln entstehen.

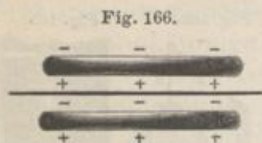
Fig. 165.



Apparate, welche aus zwei durch eine isolierende Schicht getrennten Leitern bestehen und dazu dienen, Elektrizität anzusammeln, heißen Kondensatoren¹⁾ (Verdichter).

¹⁾ condensare, dicht machen, verdichten.

Erkläre den el. Vorgang des obigen Versuches nach Anleitung der Fig. 166:
 a. für den Fall, dafs der Apparat isoliert aufgestellt sei und keine Funken überspringen,
 b. für den Fall, dafs die untere Platte wie oben mit dem Erdboden leitend verbunden ist und Funken überspringen. — Zur genaueren Erklärung diene folgender Versuch:

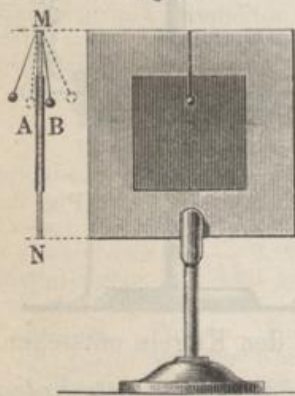


Versuch b. Ladet man den isoliert aufgestellten Kondensator wie vorhin, indem man die untere Platte dabei ableitend berührt, und hebt dann die obere Platte und hiernach auch die Htg.-Scheibe ab, so zeigen sich beide Metallplatten nur schwach el. und zwar die obere + el., die untere - el. Werden darauf beide Platten ableitend berührt, so erhält man, wenn man den Apparat wieder zusammensetzt, doch noch einen kräftigen Funken, selbst wenn man beide Seiten der Htg.-Scheibe abwechselnd in mehreren Punkten ableitend berührt hatte.

Erklärung: Die abgestoßene + E. der oberen Platte breitet sich, da letztere ein guter Leiter ist, auf der ganzen Fläche aus, in welcher sie die isolierende Schicht berührt; dasselbe gilt auch von der angezogenen - E. der unteren Platte. Beide Elektrizitäten sind derart gebunden, dafs sie selbst durch das Abheben der Platten von der isolierenden Schicht nicht entfernt werden können. Bei beiden ist somit das Bestreben, sich wieder zu entfernen, sehr geschwächt. Infolgedessen läfst sich weit mehr E. ansammeln, als wenn die Spannung beim Laden des Kondensators ungeschwächt zunähme. Sobald die Spannung eine gewisse Gröfse erreicht hat, tritt durch die leitenden Platten zwischen den Kugeln eine el. Ausgleichung und damit eine plötzliche Entladung des Kondensators ein.

Während der **Platten-Kondensator** (Fig. 165) zerlegbar ist, sind bei der **Franklinschen Tafel** und der **Leydener Flasche** die beiden Metallplatten mit der isolierenden Schicht fest verbunden.

Die **Franklinsche Tafel** (Fig. 167) besteht aus einer isolierenden Glasscheibe, welche auf beiden Seiten mit Stanniol so beklebt ist, dafs ein etwa 5 cm breiter Rand frei bleibt; dieser ist der besseren Isolierung wegen gefirnifst.



man die Metallbelegungen abwechselnd mit dem Finger berührt (allmähliche Entladung).

Um die Tafel mit E. zu laden, läfst man auf die eine Metallbelegung vom Konduktor der Elektriziermaschine Funken überspringen, oder man bringt sie mit dem Konduktor in Berührung und berührt die andere Belegung ableitend. Zum Entladen der Tafel läfst sich ein isolierter (mit Guttapercha überzogener) Messing- oder Kupferdraht anwenden, welcher an jedem Ende mit einer Kugel versehen ist (**Auslader**, Fig. 169).

Bem. In Fig. 167 (links) ist auf beiden Seiten von MN angedeutet, welche Bewegungen zwei auf die Metallflächen herabhängende Pendel ausführen, wenn man die Metallbelegungen abwechselnd mit dem Finger berührt (allmähliche Entladung).

Die **Leydener Flasche** (Fig. 168, folg. Seite) ist ein Gefäfs, das aus isolierendem Glase besteht und bis nahe zum oberen Rande in- und

auswendig mit Stanniol beklebt ist, während der freibleibende Rand gefirnist wird. Im Deckel des Gefäßes ist ein Messingdraht befestigt, welcher oben eine Kugel trägt und unten durch eine bis auf den Boden hinabreichende Kette mit der inneren Metallbelegung in leitender Verbindung steht.

Die Flasche wird geladen, indem man den Knopf an den Konduktor der Elektrisiermaschine hält und die äußere Belegung mit der Hand berührt oder durch einen Draht mit dem Erdboden in Verbindung setzt. Die der inneren Belegung mitgeteilte Ladung (+ E.) wirkt verteilend auf die äußere Belegung, zieht eine Ladung von - E. an und stößt + E. ab. Eine starke Ladung ist also nur möglich, wenn die Flasche mit der Erde in leitender Verbindung steht. (Nachweis durch einen Versuch, indem man die Flasche auf eine isolierende Unterlage stellt.)

Besteht eine Flasche aus gut isolierendem Glase, so kann sie in trockenem und staubfreiem Zustande stundenlang geladen bleiben; finden jedoch die sich gegenseitig anziehenden Elektricitäten der inneren und äußeren Belegung einen Weg zur Ausgleichung, so erfolgt diese, indem mit lautem Knall ein heller Funke überspringt: **Funkenentladung** (*Entladung durch die Hand oder durch den Auslader* (Fig. 169); bei starker Spannung erfolgt auch oft eine *Entladung über den Rand der Flasche hinweg*, unter Umständen auch eine *Durchbohrung des Glases*, wodurch natürlich die Flasche unbrauchbar wird). *Die Entladung kann jedoch auch allmählich erfolgen*, indem die in großer Dichte angehäufte E. benachbarte Luftteilchen elektrisiert und diese, indem sie abgestoßen werden, einen Teil der Ladung mit fortführen.

Eine Flasche, die bereits entladen wurde, ergibt bei abermaliger Entladung einen zweiten schwächeren Funken und so fort bei wiederholter Entladung, namentlich wenn sie inzwischen einige Zeit sich selbst überlassen blieb. Es muß also in der Flasche ein Teil der Ladung zurückgeblieben sein, der wahrscheinlich am Glase haftete und nach der Entladung wieder in die Belegungen zurückkehrte (* Versuch mit einer zerlegbaren Flasche). Man bezeichnet den zurückgebliebenen Teil der Ladung als **elektrischen Rückstand (Residuum)**.

Um sehr starke elektrische Ladungen zu erhalten, stellt man mehrere Flaschen zu einer el. Batterie zusammen, indem man sowohl ihre inneren, als auch ihre äußeren Belegungen leitend verbindet.

Die Leydener Flasche wurde fast gleichzeitig von Kleist in Kammin (daher auch Kleistsche Flasche genannt) und von Musschenbroek und Cuneus in Leyden entdeckt (1745). Letzterer erhielt einen heftigen Schlag, als er eine halb mit Wasser gefüllte Flasche in der einen Hand hielt und mit der anderen Hand einen Nagel berührte, durch welchen el. Funken nach dem Wasser überschlügen.

Zur Ansammlung sehr geringer Mengen von E. dient der **Kondensator von Volta** (Fig. 170). Dieser besteht aus zwei kleinen messingenen oder kupfernen Platten, welche auf den beiden einander zugewandten Seiten mit einer dünnen, isolierenden Lackschicht überzogen sind, und von denen die obere mit einer isolierenden Handhabe versehen ist.

Der Voltasche Kondensator wird gewöhnlich mit einem Goldblatt-Elektroskope verbunden, indem man die Kugel von letzterem entfernt und sie durch die untere Kondensatorplatte ersetzt; auf letztere wird die mit der Handhabe versehene Platte gestellt. Darauf bringt man den Körper, von welchem man vermutet, daß er el. sei, etwa

Fig. 168.

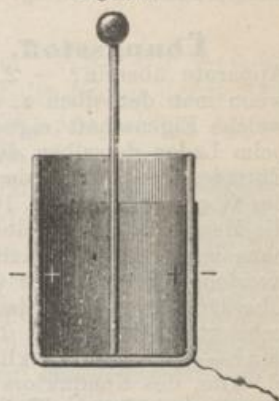
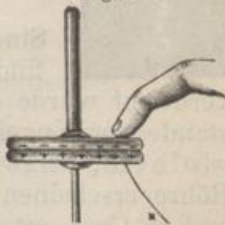


Fig. 169.



Fig. 170.



mit der unteren Platte in Berührung, indem man die obere Platte mit dem Finger ableitend berührt, und hebt schliesslich die obere Platte ab. Hat sich dabei genug E. in den Platten angesammelt, so geben die Goldblättchen beim Abheben der Platte einen Ausschlag.

Übungsstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung der el. Ansammlungs-Apparate überein? — 2. Welchen Zweck hat die Htg.-Scheibe des Elektrophors, wenn man denselben a. als Elektrophor, b. als Kondensator anwendet? — 3. Durch welche Eigenschaft eignen sich die Metallplatten des Kondensators besonders dazu, beim Laden desselben die E. auf der isolierenden Platte schnell auszubreiten, beim Entladen den Abfluss der E. zu beschleunigen? — 4. Warum muß die Htg.-Scheibe des Kondensators (Fig. 165) gröfser sein als die Metallplatten? — 5. Warum dürfen die Metallplatten desselben hohl sein? — 6. Warum ist es unmöglich, in den Platten ohne isolierende Trennung derselben ebensoviel E. anzusammeln, als wenn sie zum Kondensator verbunden sind? — 7. Glas kondensiert leicht Wasserdämpfe auf seiner Oberfläche und wird dadurch leitend; durch einen Firnis-Überzug wird dem vorgebeugt. Inwiefern ist dies bei den betreffenden Kondensatoren berücksichtigt worden? — 8. Eine Franklinsche Tafel sei, ohne ableitend berührt zu werden, in die el. Atm. des Konduktors gebracht, sodafs sie sich noch aufserhalb der Schlagweite derselben befinde. Welcher el. Vorgang wird dann eintreten? (Zeichnung!) — 9. Von welchen Bedingungen hängt die Stärke der Ladung einer Leydener Flasche ab? — 10. In welcher verschiedenen Weise kann dieselbe entladen werden? — 11. Warum ist bei dem Kondensator von Volta die isolierende Doppelschicht sehr dünn? — 12. Zweck der Doppelschicht?

§ 48. Die Wirkungen und die Dauer der elektrischen Entladung.

a. 1. Lichtwirkung. *Funkenentladung.* Versuch a. Der Entladungsfunke, wie er zwischen den Konduktoren einer Influenzmaschine im Dunkeln beobachtet werden kann, ist ein dünner, blendend heller Lichtstreifen. Vergröfsert man den Abstand der Konduktoren auf einige cm, so wird der Entladungsfunke eine unregelmäßige Zickzacklinie, die merkwürdige Verzweigungen und Verästelungen zeigt, wenn man an dem einen Konduktor statt der Kugel eine gröfsere Metallscheibe anbringt (vergl. § 49: Form des Blitzes).

Fig. 171.



Die Länge und der Glanz des el. Funkens hängt von der Spannung und Menge der E., sowie von der Luftbeschaffenheit ab, die Farbe hauptsächlich von den Metallflächen, zwischen denen die Entladung stattfindet (Kupfer z. B. giebt grünliche, Eisen rötliche Funken). Eingehende Untersuchungen haben ergeben, dafs der Funke ebensowohl Teilchen der Metalle losreißt und verflüchtigt, wie er auch Luftteilchen ins Glühen versetzt.

Entladung in luftverdünnten Räumen. *Versuch b. Sind die Kugeln, zwischen denen die el. Ausgleichung stattfindet, in ein Glasgefäß eingeschlossen, in dem die Luft verdünnt wurde (el. Ei, Fig. 171), so entsteht auch bei gröfserem Abstände der Kugeln statt eines einzelnen Funkens eine schöne blafs-violette, verzweigte Lichtgarbe. In einer mit Wasserstoff gefüllten Röhre erscheinen die Funken karminrot, in Kohlensäure grünlichweifs, andere Gase erteilen den Funken wieder andere Farben. (Geißler'sche Röhren.)

In verdünnter Luft und in verdünnten Gasen ist der el. Funke breit, bandförmig und bedeutend länger als in gewöhnlicher Luft, seine Farbe hängt von der Natur des Gases ab.

Büschel- und Glimmentladung. *Versuch c. Wird der $+$ Konduktor im dunklen Zimmer stark geladen, so strömt die E. aus demselben in bläulichen oder violetten Lichtbüscheln (Fig. 172) aus; diese sogen. **Büschelentladung** ist stets von einem knisternden oder zischenden Geräusch begleitet und wird dadurch befördert, daß man dem Lichtbüschel in einiger Entfernung (sodafs keine Funken überschlagen können) einen guten Leiter, etwa die flache Hand, gegenüberhält. Wird der abgerundete Konduktor mit einer Spitze in Verbindung gebracht (zugespitzter Eisendraht, Holzstäbchen), so verschwindet der Büschel und es tritt ein ruhiges, gleichmäßiges Ausströmen der E. ein: **Glimmentladung.**

Fig. 172.



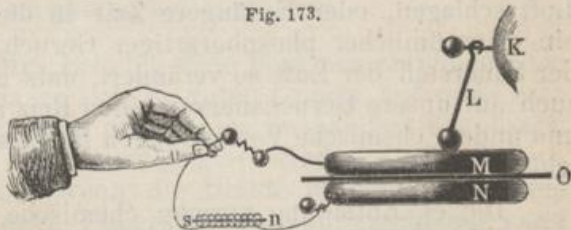
Auf Spitzen am $-$ Konduktor entstehen Lichtpunkte.

Woraus erklärt es sich, daß diese Erschn. sich umkehren, wenn man die Spitzen den Konduktoren gegenüberhält, sowie daß die zu beiden Seiten der Scheibe angebrachten sogen. Saugspitzen die Licht-Erschn. des neg. Konduktors zeigen? Beobachtung der Erschn. an den Saugspitzen der Influenzmaschine!

Wenn auf einem Leiter angesammelte E. von starker Spannung sich nicht durch **Funkenentladung** ausgleichen kann, so tritt eine allmähliche Entladung durch **Büschel- oder Glimmlicht** ein; diese Lichterscheinungen sind nur im Dunkeln wahrnehmbar.

2. Magnetische Wirkung. Versuch d. In die Windungen eines überspannenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdrahtes sei ein Stahlstäbchen gelegt (sn, Fig. 173). Befestigt man dann auf dem einen Ende des Drahtes eine Metallkugel und verbindet das andere Ende mit der unteren Platte des Kondensators, so wird das Stäbchen dadurch, daß man Funken auf die Kugel überschlagen läßt, magnetisch. In entgegengesetzter Lage des Stäbchens kehren sich die Pole durch wiederholte Entladungsschläge wieder um.

Fig. 173.



Eisen- und Stahlstäbe werden unter der Einwirkung eines in Windungen um dieselben geführten Entladungsschlages magnetisch.

Man hat ferner nachgewiesen, daß Entladungsströme von genügender Stärke, wenn sie an einer Magnetnadel parallel zur magnetischen Achse derselben vorbeigeführt werden, einen Ausschlag der Nadel bewirken.

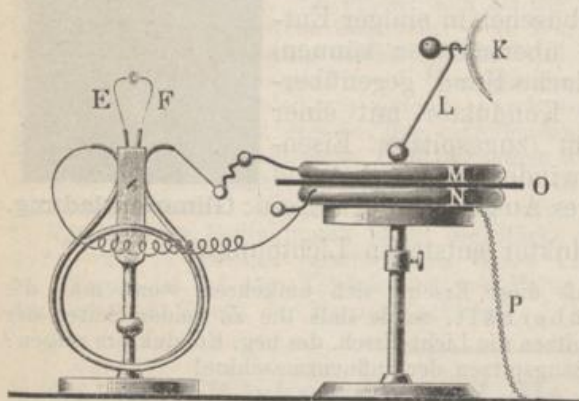
3. Elektrische oder Induktionswirkung. Man kann sich die Verbreitung der E. in einen Leitungsdraht so vorstellen, als ob die $+$ E.

des Konduktors durch den Draht zum Reibzeuge, die — E. des Reibzeuges dagegen zum Konduktor flösse.

Werden zwei ungleichnamig el. Körper durch einen guten Leiter miteinander verbunden, so gleichen sich ihre Elektrizitäten so aus, als ob die E. des einen Körpers durch den Leiter hindurch nach dem anderen flösse: **Elektrischer Strom.**

* **Versuch e.** Läßt man den Entladungsschlag des zerlegbaren

Fig. 174.



Kondensators oder einer stark geladenen Influenzmaschine durch einen mit Guttapercha umgebenen Kupferdraht hindurchgehen, mit welchem man einen anderen Kupferdraht so verbunden hat, daß beide Drähte parallel und isoliert nebeneinander liegen, so springt im Augenblicke der Entladung zwischen den einander genäherten Enden (E und F, Fig. 174) des Nebendrahtes ebenfalls ein kleiner Funke über. Hieraus folgt:

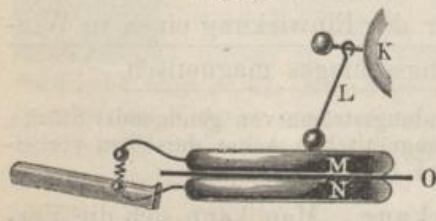
Der el. Entladungsstrom ruft in einer benachbarten, der Hauptleitung parallelen Nebenleitung eine el. Bewegung (**Induktionsstrom**) hervor, welche sich an der kurzen Unterbrechungsstelle der Nebenleitung durch einen kleinen Funken (**Induktionsfunken**) zu erkennen giebt.

4. Chemische Wirkung. Wenn wiederholt el. Funken durch die Luft schlagen, oder E. längere Zeit in die Luft ausströmt, so entsteht ein eigentümlicher phosphorartiger Geruch. Durch die E. wird nämlich der Sauerstoff der Luft so verändert, daß er stark oxydierend wirkt und auch auf unsere Geruchsnerven einen Reiz ausübt (Ozon¹). Salzlösungen und andere chemische Verbindungen lassen sich durch kräftige Entladungsschläge zersetzen.

Die el. Entladung vermag chemische Wirkungen hervorzubringen.

5. Mechanische Wirkung. ***Versuch f.** Dünnes Glas, ein Kartenblatt oder ein anderer schlechter Leiter wird beim Überschlagen eines

Fig. 175.



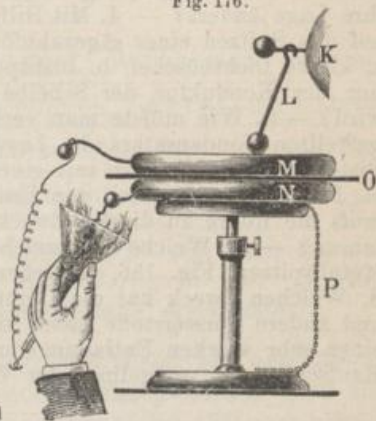
Funkens durchbohrt (Fig. 175). Das Glas zeigt an der vom Funken getroffenen Stelle feine Risse, das Kartenblatt ein feines Loch, dessen Ränder nach beiden Seiten aufgeworfen sind. Flüssigkeiten werden durch kräftige el. Entladungen gewaltsam auseinander geschleudert.

¹) ὠζειν (ózein), riechen.

Körper, welche die Leitung der E. bei der Entladung unterbrechen,
werden gewaltsam durchschlagen.

6. Wärmewirkung. *Versuch g. Läßt man den Entladungsfunken des Konduktors der Elektrisiermaschine oder eines Kondensators auf einen abgerundeten Leiter (Draht mit Kugel) überspringen, welcher von einer leicht entzündbaren Flüssigkeit (etwa Äther auf Baumwolle getropft) umgeben ist, so entzündet sich die Flüssigkeit durch den Funken (Fig. 176). — Dasselbe tritt auch ein, wenn man zwischen beiden Kugeln, während der Funke überspringt, Leuchtgas oder Wasserstoffgas ausströmen läßt. — Sehr dünner Eisen- oder Platindraht läßt sich durch den Entladungsschlag zum Glühen bringen.

Fig. 176.



Bei der el. Entladung wird sowohl an der Unterbrechungsstelle, als auch im Leitungsdrahte des Entladungsstromes Wärme erzeugt.

7. Physiologische¹⁾ Wirkung. Versuch h. Reichen mehrere Personen einander die Hände, so fühlt jede eine heftige Erschütterung in den Gelenken, wenn die erste Person ihren Körper mit der Kugel der einen Kondensatorplatte in leitende Verbindung bringt, und die letzte der anderen Kondensatorplatte etwa den Fingerknöchel soweit nähert, daß ein Funke überspringt.

Der Entladungsschlag übt auf die Nerven einen starken Reiz aus, welcher schmerzhaft Muskelzuckungen hervorruft.

b. Dauer der el. Entladung. Beliebige viele Personen empfinden den Entladungsschlag gleichzeitig, da er sich in guten Leitern auf nicht sehr weite Entfernungen hin mit unmeßbar großer Geschwindigkeit fortpflanzt. In sehr langen Drähten ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der el. Entladung geringer, besonders dann, wenn die Drähte weniger gut leiten. Von der außerordentlich geringen Dauer des Entladungsschlages kann man sich durch folgenden Versuch überzeugen.

Versuch i. Im verdunkelten Zimmer setzt man vor den Konduktoren einer Influenzmaschine eine Farbenscheibe in sehr schnelle Umdrehung. Wird dieselbe durch den Entladungsfunken beleuchtet, so scheint sie durchaus still zu stehen, wie schnell sie sich auch dreht; man erblickt ganz scharf die einzelnen Sektoren, während dieselben bei anderer Beleuchtung zu einer grauen Fläche verschmelzen.

Auch der Blitz ist von außerordentlich kurzer Dauer.

¹⁾ Physiologie, Lehre von der Thätigkeit der Organe.

Übungsstoff. 1. Man kann die Helligkeit von el. Funken dadurch erhöhen, daß man die Kugeln, zwischen denen der Funke überspringt, mit Qu. amalgamiert. Wie mag sich dies erklären? — 2. Man will im dunklen Zimmer über dem Konduktor der Elektrisiermaschine einen leuchtenden Ring hervorrufen. Welches Hilfsmittels kann man sich hierzu bedienen? Erkl.! — 3. Wie erklärt es sich, daß der Lichtbüschel, Fig. 172, der vor ihm ausgebreiteten Hand folgt, wenn man ihre Lage ändert? — 4. Mit Hilfe der Elektrisiermaschine soll bewirkt werden, daß auf den Spitzen eines sägezahnförmig ausgeschnittenen Stückes Papier im Dunklen a. kleine Lichtbüschel, b. Lichtpunkte erscheinen. Wie ist dies zu erreichen, wenn nur der Konduktor der Scheibe oder nur der Konduktor des Reibzeuges benutzt wird? — 5. Wie müßte man verfahren, wenn man statt des in obigen Figuren dargestellten Kondensators die Leydener Flasche benutzen wollte? — 6. In einer el. Pistole, d. h. einer vorn mit einem Stöpsel verschlossenen Blechröhre, soll durch den el. Funken ein Gemisch von Leuchtgas und atm. Luft entzündet werden. a. Wie muß die Röhre zu diesem Zwecke eingerichtet sein? b. Wie kann man dabei verfahren? — 7. Welche Lichterscheinung würde bei vollständiger Dunkelheit an den Metallspitzen, Fig. 156, entstehen, wenn die Scheibe aus Htg. bestände? Erkl.! — 8. Welchen Zweck hat die Umhüllung der Drähte in Fig. 174? — 9. Schießpulver und andere Sprengstoffe lassen sich trotz ihrer leichten Entzündbarkeit selbst durch einen sehr starken Entladungsfunken schwer entzünden. Schaltet man eine nasse Hanfschnur ein, so gelingt der Versuch leichter. Wie erklärt sich dies?

Elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 49. Gewitter. Blitzableiter. Nordlicht. Die Vermutung, daß Blitz und Donner eine Folge el. Entladungen seien, wurde erst durch die Untersuchungen Benjamin Franklins bestätigt, trotzdem sie schon früher ausgesprochen worden war. Franklin hatte beobachtet (1749), daß der Blitz fast alle Eigenschaften des el. Funkens besaß (Zickzackrichtung, schnelle Bewegung, Farbe des Lichtes, Leitung durch Metalle und Wasser, schwefelartiger Geruch u. s. w.); er liefs deshalb während eines Gewitters einen Papierdrachen steigen und entzog der Schnur, an die er einen Schlüssel gebunden hatte, zahlreiche Funken, besonders nachdem dieselbe nass geworden war. Ähnliche Versuche wurden nach Franklins Vorschlag von verschiedenen anderen Naturforschern angestellt; einer derselben, Richmann in Petersburg, hatte dabei das Unglück, von einem Blitzstrahl getötet zu werden.

Untersuchungen, welche man über die E. der Atmosphäre angestellt hat, haben ergeben, daß die freie Luft stets el. ist und zwar im allgemeinen im Winter stärker als im Sommer und bei heiterem Himmel immer + el.

Um durch einen *Versuch die Lufterlektrizität nachzuweisen, befestige man an dem Drahte eines Goldblattelektroskopes nach dem Abschrauben der Kugel einen Kupferdraht; auf die Spitze desselben steckt man ein Stückchen glimmenden Zündschwamm oder Sprengkohle und hält nun den Draht mittels einer Stange zum Fenster hinaus. Das Auseinandergehen der Blättchen zeigt den el. Zustand der Luft an, der sich schon bei geringen Höhenunterschieden steigert und bei wechselndem Wetter häufig ändert.

Als die wahrscheinliche Ursache der Lufterlektrizität betrachtet man die an der Erdoberfläche stattfindende Wasserverdunstung.

Wie die Luft eines Zimmers, in welchem eine Elektrisiermaschine arbeitet, mit E. geladen ist, so sind auch die Wolken gewöhnlich elektrisch und die starke Spannung, welche eintritt, wenn die kleinen Wasserteilchen zu Tropfen sich vereinigen, bewirkt in der Erdoberfläche unter der Wolke oder auch in benachbarten Wolken eine Ladung mit der entgegengesetzten E.

Nähert sich eine Gewitterwolke einer unel. Wolke oder Gegenständen der Erdoberfläche, so findet in diesen eine el. Verteilung statt. Es entsteht ein **Blitz**, indem die E. der Wolke sich mit der von ihr angezogenen ungleichnamigen E. plötzlich ausgleicht.

Hiernach ist der *Blitz sowohl nach seiner Form als nach seinen Wirkungen ein gewaltiger el. Funke und der Donner der Schall, welchen der Blitz durch die heftige Lufterschütterung verursacht.*

Der Blitz erscheint entweder als eine *zickzackförmige, hell leuchtende Linie*, welche meilenlang sein kann (**Linien- oder Zickzackblitz**), oder als eine *fast gleichmäßige Erleuchtung des ganzen Gewölkes* (**Flächenblitz**). Im ersteren Falle hört man einen rasselnden Donner, im letzteren ein gleichmäßiges, allmählich abnehmendes Rollen. Mit Hilfe der Momentphotographie ist es gelungen, die Form der Blitzbahn genauer zu bestimmen; sie zeigt zahlreiche Verzweigungen, etwa wie ein Flußlauf mit seinen Nebenflüssen (§ 48, Versuch a). Da das Licht sich bedeutend schneller fortpflanzt als der Schall (900 000 mal so schnell), so ist die Zeit zwischen Blitz und Donner um so größer, je weiter der Blitz entfernt ist. Die Dauer des Blitzes ist so gering, daß es unmöglich ist, zu sagen, an welchem Ende er beginnt und nach welcher Richtung er schlägt, ob aus der Wolke nach der Erde oder umgekehrt; er dauert kaum $\frac{1}{100000}$ von einer Sekunde. Sehr schnell bewegte Gegenstände scheinen während des Blitzens in dunkler Nacht stillzustehen (§ 48, Versuch i). Die lange Dauer des Donners hat ihren Grund in der Länge des Blitzstrahles, da von entfernteren Punkten die Schalle später an unser Ohr gelangen als von näher gelegenen. Das Rollen des Donners und der eigentümliche Wechsel von Piano und Forte in demselben erklärt sich teils aus der gegenseitigen Verstärkung und Schwächung der Schalle, welche von einzelnen Teilen der Zickzacklinie des Blitzes ausgehen, teilweise auch aus der Reflexion des Schalles, welche durch Wolken, Bergwände u. s. w. bewirkt wird.*)

Blitze, deren Donner man wegen ihrer großen Entfernung nicht hören kann, rufen das sogen. **Wetterleuchten** hervor. — Nachts ist zuweilen während eines Gewitters auf den Spitzen der Türme, Blitzableiter, Mastbäume u. s. w. ein flammenartiger Schein wahrnehmbar, welcher durch das Ausströmen der E. entsteht (vgl. § 48, Versuch c). Diese Erscheinung wird **St. Elmsfeuer** genannt.

Die seltene Erscheinung der sogen. **Feuerkugeln (Kugelblitze)**, welche langsam auf die Erde herabsinken und sich oft noch eine Strecke weit an den Gegenständen fortbewegen, ohne diese zu beschädigen, dann aber mit heftigem

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 95 (Interferenz).

Knalle zerplatzen, ist noch nicht genügend erklärt. Indes ist es neuerdings gelungen, dieselbe durch Versuche nachzuahmen.

Die Erfahrung lehrt, dafs hoch hervorragende Gegenstände am leichtesten vom Blitze getroffen werden. Der Blitz folgt dabei den besten Leitern; bei gleichguten Leitern schlägt er den kürzesten Weg ein. Reicht ein vom Blitze getroffener guter Leiter bis in den Erdboden hinab, so wird der Blitz dadurch in die Erde geleitet. Leitende Körper von geringer Stärke werden durch den Blitz stark erhitzt. Telegraphendrähte u. dgl. schmelzen gewöhnlich ab; brennbare Gegenstände werden vom Blitze leicht entzündet, wenn schlechte Leiter den Gang desselben verzögern. Findet letzteres nicht statt, so zündet der Blitz gewöhnlich nicht (sogen. kalter Schlag). Sind gute Leiter von schlechten Leitern unterbrochen, so springt der Blitz von einem Gegenstande zum anderen über; die schlechten Leiter werden häufig dabei durchbohrt oder zertrümmert. In sandigem Boden schmelzen die Sandkörnchen durch den Blitz bisweilen zu Röhren (Blitzröhren) von einigen cm Durchmesser und mehreren Metern Länge zusammen. Die Luft, durch welche der Blitz schlägt, kann bedeutende mechanische Wirkungen ausüben, z. B. Gegenstände mitfortreissen, Mauern verschieben u. s. w.

Entladet sich eine der Erde nahestehende el. Wolke plötzlich gegen eine höhere Wolke, so vereinigen sich die Elektrizitäten, welche durch die nähere Wolke in den Gegenständen der Erdoberfläche verteilt waren, wieder: es entsteht ein el. Rückschlag (vgl. § 45). Dieser wirkt bei genügender Stärke im Körper der Menschen und Tiere ähnlich wie der Blitz selbst.

Um ein Gebäude vor dem Blitzschlage zu schützen, wendet man einen **Blitzableiter** an (Fig. 177). Derselbe besteht aus einer auf dem Gebäude senkrecht befestigten Eisenstange, der sogen. *Auffangstange*, und einer am Gebäude hinabführenden eisernen oder kupfernen *Leitung*.

Fig. 177.

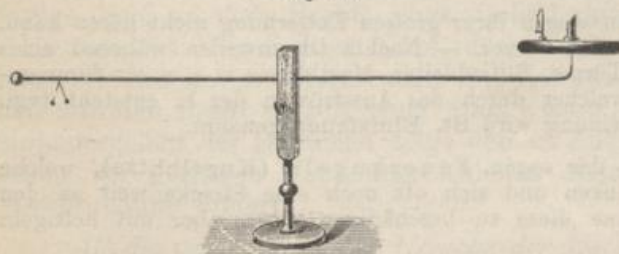


Die Auffangstange endigt oben in eine oder mehrere Spitzen, welche stark vergoldet oder mit einem Platinkegel (neuerdings Kohlenspitze) versehen sind, damit sie sich an der Luft nicht verändern. Die Leitung reicht vom unteren Ende der Auffangstange bis in das Grundwasser oder in ein Gewässer hinab. — Erfahrungsgemäfs hat der Schutzkreis eines Blitzableiters etwa

die Länge der Auffangstange zum Halbmesser.

Die Wirkungsweise eines Blitzableiters läfst sich leicht

Fig. 178.



dadurch veranschaulichen, dafs man nahe über die Spitze eines isolierten Kupferdrahtes (Fig. 178) etwa den + el. gemachten Deckel des Elektrophors hinwegführt. Ein am anderen Ende des Drahtes aufgehängtes Fadenpendel giebt dabei durch die abgestofsene, gleichnamige E. einen

Spitze eines isolierten Kupferdrahtes (Fig. 178) etwa den + el. gemachten Deckel des Elektrophors hinwegführt. Ein am anderen Ende des Drahtes aufgehängtes Fadenpendel giebt dabei durch die abgestofsene, gleichnamige E. einen

Ausschlag. Wird der Draht ableitend berührt, so findet eine allmähliche Entladung des Deckels statt. Erklärung!

Die Wirkung eines Blitzableiters erklärt sich somit daraus, dafs die aus der Spitze desselben strömende E. sich mit der E. der Wolke langsam vereinigt, wodurch die Wolke allmählich entladen wird. Springt dennoch auf den Blitzableiter ein Funke über, so erfolgt dies, da der Blitzableiter mit der Erde in leitender Verbindung steht, ohne nachteilige Wirkung für das Gebäude.

In neuester Zeit stellt man Blitzableiter aus einem etwa 8 mm dicken Kupferdrahte oder einem aus 10—12 dünneren Kupferdrähten bestehenden Drahtseile her. Bei Anwendung von Eisen werden dickere Drähte benutzt. Zur Erhöhung des Schutzes soll der Blitzableiter mit dem Gebäude, sowie mit allen darin oder daran befindlichen gröfseren Metallmassen (eisernen Treppen, Dachrinnen, Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w.) leitend verbunden sein, damit alle während eines Gewitters im Gebäude angesammelte E. durch den Blitzableiter entfernt werden kann. Noch wichtiger ist die Erdleitung. Damit durch das weniger gut leitende Erdreich oder Grundwasser die E. genügend abgeleitet wird, mufs das untere Ende des Blitzableiters eine grofse Oberfläche haben (Verbindung mit einer mindestens $\frac{1}{2}$ qm grofsen Kupferplatte, einem starken Drahtnetz oder dergl.) Der Blitzableiter darf nirgends unterbrochen sein.

Der Blitzableiter ist eine Erfindung Franklins, welcher durch die von ihm entdeckte „Kraft der Spitzen“ darauf geführt wurde, dieselbe der Menschheit nutzbar zu machen.

Vorsichtsmafsregeln. Befindet man sich während eines starken Gewitters aufserhalb des Hauses, so halte man sich nicht in der Nähe von allein stehenden hohen Gegenständen (Bäumen, Telegraphenstangen u. dgl.) auf; ist das Gewitter sehr nahe, so bleibe man nicht in aufrechter Stellung. Im Zimmer halte man sich nicht in der Nähe von Metallmassen (Ofen, Kronleuchter u. dgl.) auf. Um bei etwaigem Einschlagen des Blitzes durch den starken Dunst nicht betäubt zu werden, welcher durch die Verwandlung des atm. Sauerstoffs in Ozon und die Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff zu salpetriger Säure entsteht, öffne man Thür oder Fenster.

Das Nordlicht ist eine in den Polarländern fast jede Nacht vorkommende Erscheinung. Dasselbe bildet gewöhnlich einen Lichtbogen, welcher einen dunklen Kreisabschnitt des nördlichen Himmels umsäumt und in beständiger flackernder Bewegung ist. Vom Lichtbogen schiefsen in der Richtung der Radien des Kreises, welchem der Bogen angehört, nach allen Seiten glänzend gelbe, rote oder violette Strahlen, deren Gröfse und Gestalt beständig wechselt, mit grofser Geschwindigkeit empor. Das Auftreten der Nordlichter, welche sich unter Umständen über den ganzen Himmel ausdehnen, ist gewöhnlich von einer auffallenden Beunruhigung der Magnetnadeln begleitet (sogen. *magnetische Stürme*). In der Häufigkeit der Nordlicht-Erscheinungen hat man eine *Periode von 11 $\frac{1}{2}$ Jahren* entdeckt, die mit der *Sonnenfleckenperiode* übereinstimmt. Das Nordlicht ist wahrscheinlich eine Wirkung el. Entladungen in den oberen Luftschichten.

Übungsstoff. 1. Wodurch hat die el. Spitzenwirkung eine sehr nützliche Anwendung erfahren? — 2. Die Spannung der E. des Konduktors der Elektrisiermaschine nimmt ab, wenn man einen beblätterten Zweig darauf befestigt, und zwar am meisten, wenn die Blätter stark behaart sind. Welche Bäume kommen hiernach in ihrer Wirkung dem Blitzableiter wohl am nächsten, und was lehrt die Erfahrung in dieser Hinsicht? — 3. Um seitliche Entladungen zu verhüten, sollen Blitzableiter, sowie die zur Befestigung dienenden Metallteile frei von Kanten und Ecken sein; w.? — 4. Warum mufs ein Eisendraht dicker sein als ein Kupferdraht, wenn er als

Blitzableiter dienen soll? — 5. Durch Blitzableiter, welche nicht bis in das Grundwasser oder irgend ein Gewässer hinabreichen, wird die Gefahr beim Gewitter erhöht; w.? — 6. Desgl., wenn die Spitze abgestumpft oder die Leitung irgendwo unterbrochen ist; w.? — 7. Man hört oft sagen, der Blitzableiter ziehe den Blitz an. Ist dies richtig? Grund! — 8. Die First eines Daches sei 18 m lang, wie hoch mindestens muß dann die Auffangstange des Blitzableiters sein? — 9. Der menschliche K. leitet die E. besser als Holz und Gestein. Was ist daher wahrscheinlich, wenn jemand beim Gewitter unter einem Baume oder an einer Mauer Schutz sucht, und diese vom Blitze getroffen werden? — 10. Zweck der Metallspitze, der Hanfschnur, des Schlüssels und der Seidenschnur am Franklinschen Drachen? — 11. An den Ecken und Kanten von Metalldächern zeigt sich nachts bei starkem Gewitter bisweilen ein Lichtschein. Erkl.! — 12. Warum kann man nachts während des Blitzens nicht sehen, daß ein Vogel fliegt, die Räder eines fahrenden Eisenbahnwagens sich drehen u. s. w.? — 13. Welchen Einfluß muß es auf den el. Zustand niedrig stehender Gewitterwolken ausüben, wenn diese über hohe Rauchsäulen hinwegziehen? — 14. Man findet die Entfernung des nächsten Punktes der Blitzbahn, wenn man die Sekundenzahl, die zwischen Blitz und Donner vergeht, mit 340 multipliziert; w.? — 15. Wie weit ist ein Gewitter von uns entfernt, wenn zwischen Blitz und Donner 10 Sek. verstreichen?

VIII. Abschnitt.

Rückblick.

§ 50. Aufgabe der Physik. Um die Naturerscheinungen, d. h. die Veränderungen, welche die Körper erleiden, wenn sie der Einwirkung von Kräften ausgesetzt sind, genauer kennen zu lernen, verfährt man, wie aus allem bisher Angeführten hervorgeht, in zweifacher Weise. Entweder beobachtet man die Körper, während ihr Zustand sich ändert, in der Natur selbst, oder man stellt, um die Veränderungen leicht und sicher wahrnehmen zu können, Versuche an, d. h. man ruft die Erscheinungen absichtlich hervor. Wir machten dabei stets die Bemerkung, daß die Erscheinungen nur unter gewissen Bedingungen eintraten.

Unter welchen Bedingungen zeigten sich z. B. die Erscheinungen, daß ein Hebel belastet im Gleichgewicht ist, daß ein Echo entsteht, daß ein gerader Stab gebrochen aussieht, daß das Quecksilber im Thermometer steigt oder fällt, daß ein Stab von Eisen oder Stahl leicht bewegliche eiserne Gegenstände anzieht und festhält, daß zwei Glas-, Hartgummi- oder Siegellack-Stäbe einander abstofsen?

Die Bedingungen aufzufinden, unter welchen eine Naturerscheinung eintritt, ist für alle Naturkenntnis von größter Wichtigkeit. Hat man den Zusammenhang jener Bedingungen erkannt, so sucht man einen kurzen sprachlichen oder mathematischen Ausdruck dafür, den man **Gesetz** oder, da sein Inhalt sich auf Naturerscheinungen bezieht, **Naturgesetz** nennt. So hat man z. B. als Gesetz für die Gleichgewichtsbedingung des Hebels gefunden, daß die beiden veränderlichen Größen, durch welche das Gleich-