



Einführung in die Elektrizitätslehre

Kolbe, Bruno

Berlin, 1893

III. Vortrag: Die elektrische Influenz. Influierender und influierter Körper;
Verlauf der freien Elektrizität auf dem influierten Körper. - Erläuterung des
Vorganges bei der elektrischen Influenz; ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-82505](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-82505)

III. Vortrag.

Die Erscheinungen der elektrischen Influenz; Erläuterung des Vorganges der Influenz; Erzeugung gleicher Mengen von $+E$ und $-E$ durch Influenz; Wahre Bedeutung der Angaben des Elektrometers; Dualistische und unitarische Hypothese; Willkürlicher Nullpunkt des elektrischen Zustandsgrades; Die elektrische Schirmwirkung; Das Coulombsche Gesetz der elektrischen Abstossung und Anziehung; Gesetz der Influenz; Vorgang bei der Anziehung unelektrischer Körper durch elektrische; Es giebt nur eine Ladung durch Influenz.

Zwei Tagereisen haben wir zurückgelegt und die wichtigsten elektrischen Erscheinungen bei der Elektrisierung durch Reiben und bei unmittelbarer Berührung kennen gelernt. Wir sahen das letzte Mal:

Rückblick.

1. Die beim Reiben erzeugten Mengen $+E$ und $-E$ sind einander gleich. Wird ein isolierter Leiter elektrisiert, so verteilt sich die Elektrizität ausschliesslich auf der äusseren Oberfläche des Leiters und zwar in der Weise, dass die elektrische Dichte umso grösser ist, je stärker die Gesamtkrümmung des betreffenden Oberflächenteiles ist. Dagegen befindet sich im Inneren eines hohlen oder massiven geladenen Leiters keine freie Elektrizität, d. h. die Dichte ist hier $= 0$. Im Gegensatz hierzu hat der elektrische Zustandsgrad eines geladenen Leiters auf der ganzen Oberfläche, sowohl der äusseren, wie der inneren, denselben Wert.
2. Wird ein geladener isolierter Leiter in das Innere eines Leiters gebracht und mit diesem leitend verbunden, so geht alle Elektrizität auf den umschliessenden Leiter über. Damit haben wir die Möglichkeit, die ganze Ladung einer Probekugel auf eine mit dem Elektrometer verbundene Hohlkugel zu übertragen und — durch wiederholtes Zuführen gleicher Ladungen — das Elektrometer zu aichen.

3. Da an Spitzen die Krümmung der Oberfläche sehr gross ist, so tritt an den Spitzen die Elektrizität in grosser Dichte auf, wodurch eine Entladung des Körpers bewirkt wird. Die glühenden Teilchen einer Flamme wirken als viele sehr feine Spitzen, weshalb die entladende Kraft der Flamme sehr bedeutend ist, sodass wir sie zum Entladen von Isolatoren benutzen können.

Der Gegenstand unserer jetzigen Untersuchung soll die elektrische Fernwirkung sein und hieran wollen wir Versuche über das Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstossung knüpfen.

Wir sahen schon das letzte Mal: Bewege ich den geladenen Flintglasstab über dem unelektrischen Elektroskope hin und

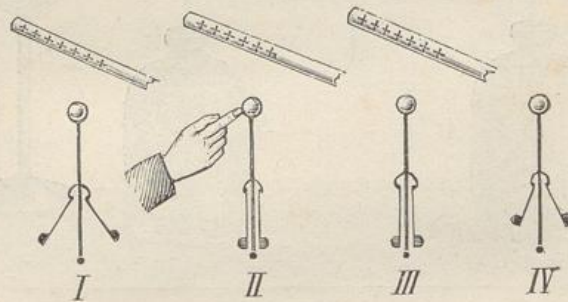


Fig. 22.

her, so gehen die Blättchen bei jeder Annäherung des Stabes auseinander und fallen, nach Entfernung desselben wieder zusammen. Das Elektroskop bleibt ungeladen! Sie haben das schon früher bemerkt, aber ich bin absichtlich flüchtig über diese Erscheinung hinweggegangen, um Sie nicht von unserem damaligen Ziele abzulenken; heute wollen wir sie genauer verfolgen.

Ich wiederhole den Versuch mit dem, wie wir wissen, positiv elektrischen Flintglasstabe, berühre aber während der elektrisierte Stab in der Nähe des Elektroskopes ist, den Leitungsstab mit der Hand (II, Fig. 22). Sie sehen — die Blättchen fallen herab und verharren in dieser Stellung, wenn ich die Hand entferne (III). Entferne ich nun auch den Glasstab, so gehen die Blättchen wieder auseinander und das Elektroskop bleibt geladen (IV). Prüfen wir die Art der Ladung, so

erkennen wir zu unserer Überraschung, dass das Elektroskop jetzt negative Elektrizität enthält, während der Glasstab doch $+E$ hatte! — Machen wir einen Kontrollversuch mit dem Ebonitstabe — Sie sehen, das Elektroskop zeigt jetzt $+E$, während der Ebonitstab negativ elektrisch ist. Wie sollen wir uns das erklären?

Ich verbinde zwei Papierelektroskope durch einen feinen Messingdraht, der einen isolierenden Handgriff hat (Fig. 23). Statt des Flintglases nähere ich eine isolierte, mit $+E$ geladene Kugel (C) — Sie sehen, wie die Blättchen an beiden Elektroskopen auseinandergehen, und zwar zeigt die Probe mit einem geladenen Glas- oder mit einem Ebonitstabe, dass das

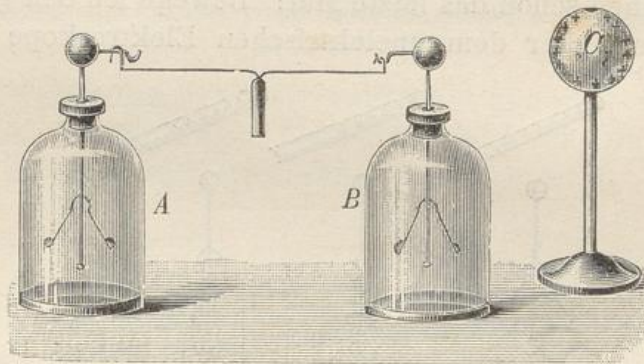


Fig. 23.

Influenz-Versuch. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

der Kugel C näher stehende Elektroskop (B) — E , also entgegengesetzte Elektrizität hat, während das entferntere Elektroskop die gleichnamige Elektrizität ($+E$) zeigt. — Hebe ich den Verbindungsdraht ab, so habe ich die entgegengesetzten Ladungen beider Elektroskope abgefangen, denn nach dem Entfernen der Kugel C bleiben beide Elektroskope geladen. Verbinde ich nun beide Apparate durch den isolierten Draht, so werden sie unelektrisch; also müssen hierbei $+E$ und $-E$ in gleichen Mengen erzeugt worden sein!

Diese eigentümliche elektrische Fernwirkung nennt man *elektrische Influenz*¹⁴⁾. Wir wollen den diese Erscheinung bewir-

¹⁴⁾ In neuerer Zeit wird von einigen Physikern, auch im Deutschen statt Influenz der Name „Induktion“ gebraucht. Da aber dieses Wort, wie wir später (S. 101) sehen werden, eine verwandte Erscheinung der

kenden elektrischen Körper (in unserem Falle die geladene isolierte Kugel C) den influierenden nennen.

Wir haben nun gesehen, dass ein elektrischer Körper in einem nahestehenden Leiter durch Influenz beide Elektricitäten hervorruft, und zwar in gleichen Mengen, der Vorgang ist uns aber noch unklar. Welche Rolle spielte beim ersten Versuch (Fig. 22) der berührende Finger meiner Hand und im zweiten Falle (Fig. 23) der Verbindungsdraht? Hierüber kann uns das schon benutzte kleine Hülfelektroskop mit dem isolierenden Griff (Fig. 24, unten) Auskunft geben. Ich wiederhole den Influenzversuch und setze die Kugel des Hülfelektroskopes auf den Verbin-

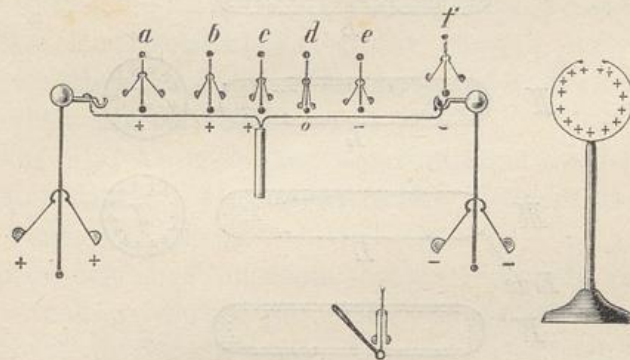


Fig. 24.
Verteilung der Influenz-Elektricität.

dungsdraht beider Elektroskope (Fig. 24), nahe beim Elektroskop A, Sie sehen, der Ausschlag ist stark und zeigt, wie die Probe ergibt, $+E$. Rücke ich das Hülfelektroskop dem Drahte entlang weiter, so nimmt seine Ladung ab und wird an einer Stelle $= 0$. Diesen Punkt wollen wir den Indifferenzpunkt nennen. — Noch weiter nach B geschoben, zeigt das Hülfelektroskop eine wachsende negative Ladung. Sie bemerken leicht, dass der Indifferenzpunkt (0) näher zum Elektroskope B liegt, bei welcher die influierende Kugel steht, als zum Elektroskope A. Der Grund dafür kann uns erst später klar werden.

dynamischen Elektricität bedeutet, so ist es durchaus zweckmässiger in der statischen (oder Reibungs-) Elektricität; zum Unterschiede, den Namen „Influenz“ beizubehalten.

Ein Kontrollversuch mit negativer Ladung der influierenden Kugel giebt ganz dasselbe Resultat (nur müssen wir uns in Fig. 24 die Zeichen $+$ und $-$ vertauscht denken).

Wo kommt nun die Influenzelektricität der vorher unelektrischen Elektroskope her? Von aussen kann sie nicht gekommen sein, da der influierende elektrische Körper doch nur seine, also gleichnamige Elektricität allein hätte übertragen können, hier aber beide Elektricitäten auftreten; also muss die Influenzelektricität aus dem unelektrischen Leiter selbst herkommen, aber durch den influierenden Körper hervorgerufen, gewissermaassen hervorgehoben worden sein!

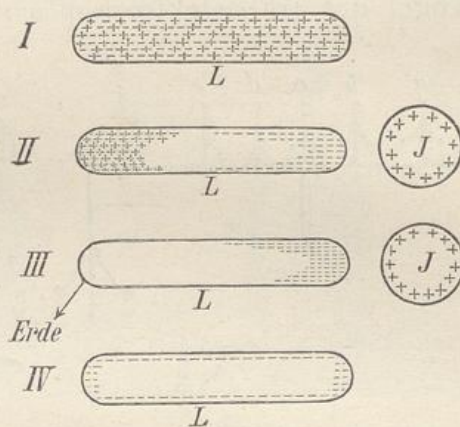


Fig. 25.

Es bleibt uns nichts übrig, als anzunehmen, dass in dem unelektrischen Körper beide Elektricitäten in gleichen Mengen vorhanden waren, und zwar — da kein Punkt derselben freie Elektricität zeigt — muss dieses elektrische Gleichgewicht an jedem Punkte (in jedem Molekül) des unelektrischen Körpers stattfinden. Unter dieser Voraussetzung können wir uns den Vorgang bei der elektrischen Influenz in folgender Weise vorstellen.

1. Der unelektrische Leiter (L , Fig. 25) zeigt an jedem Punkte (in jedem Molekül) $+E$ und $-E$, die sich in der Wirkung nach aussen aufheben.
2. Durch Annäherung des influierenden (hier positiv-elektrischen) Körpers J wird das elektrische Gleichgewicht im Leiter gestört, indem die gleichnamige Elektricität ($+E$) abgestossen, also an das am

weitesten von J befindliche Ende des Leiters getrieben wird, während die ungleichnamige Elektrizität ($-E$) angezogen wird, sich also in das dem influierenden Körper zugewandte Ende begiebt (II, Fig. 25).

3. Bei Berührung mit der Hand fließt die abgestossene, gleichnamige Elektrizität zur Erde ab, während die ungleichnamige durch die Anziehung (von J) zurückgehalten, sozusagen gebunden ist (III Fig. 25).
4. Entfernen wir nun zuerst den ableitenden Finger und darauf den influierenden Körper (J), so muss sich die gebunden gewesene ungleichnamige Elektrizität ($-E$) über den ganzen Leiter verteilen (IV, Fig. 25).

Die angezogene ungleichnamige Influenzelektrizität wird auch „Influenzelektrizität erster Art“, und die abgestossene gleichnamige „Influenzelektrizität zweiter Art“ genannt (Riess 1858).

Das Auf- und Abspringen der Blättchen des Elektroskopes beim Vorüberführen eines elektrischen Körpers findet in dem Gesagten seine Erklärung.

Ersetzen wir bei unserem ersten Versuch (Fig. 22) das Papierelektroskop durch das viel empfindlichere Elektrometer, so ist die Erscheinung dieselbe. Zugleich können wir Folgendes bemerken: Steht der influierende Körper still, so ist der erste Ausschlag der von der abgestossenen gleichnamigen Elektrizität herrührt, genau so gross, wie der Endausschlag mit der entgegengesetzten Elektrizität nach Entfernung des influierenden Körpers. Es ist das einerseits eine Bestätigung des von uns gefundenen Gesetzes, dass durch Influenz beide Elektrizitäten in gleicher Menge erzeugt werden, andererseits giebt uns das ein gutes Mittel an die Hand, um das Elektrometer, oder überhaupt ein empfindliches Elektroskop genau bis zu einem beliebigen, an der Skala ablesbaren Grade zu laden, ohne die zarten Aluminium-Blättchen zu beschädigen. Wir wollen fortan immer Gebrauch von dieser Art des Ladens machen, dürfen aber nicht vergessen, dass ein Elektroskop durch Influenz geladen, die entgegengesetzte Elektrizität erhält, wie durch Berührung!

Wir wollen nun einen Versuch anstellen, der unsere Kenntnisse über das Wesen der elektroskopischen Erscheinungen erweitern wird und zugleich eine Vorsichtsmaassregel anzuwenden lehrt.

Wahre Bedeutung der Angaben des Elektrometers.

Ich stelle das Elektrometer — das, wie Sie sehen, ein Metallgehäuse hat — auf einen isolierenden Parafinblock und verbinde das Gehäuse durch einen Draht mit einem Elektroskop. Nun lade ich das Elektrometer mit $+E$ und elektrisiere das Blechgehäuse gleichfalls mit $+E$ — der Ausschlag des Elektrometers nimmt in dem Maasse ab, als der des Gehäuses wächst, wird $= 0$ und wächst wieder, aber — die Probe mit dem Ebonit- oder Glasstabe zeigt eine negative Ladung des Elektrometers! Berühre ich das Gehäuse ableitend, so zuckt das Blättchen des Elektrometers zusammen und zeigt wieder die ursprüngliche Ladung $+E$. Ich wiederhole den Versuch, indem ich das Gehäuse mit entgegengesetzter Elektrizität lade; jetzt steigt die Ladung des Elektrometers stetig von Anfang an! Was giebt also das Elektrometer an? Offenbar nur die Differenz zwischen dem elektrischen Zustandsgrade des Blättchens und seiner Umgebung (des Gehäuses). Damit das Elektrometer einen seiner wahren Ladung entsprechenden Ausschlag zeigt, muss also das Gehäuse unelektrisch sein, was dadurch erreicht wird, das man es ableitend berührt oder, besser, dauernd mit einem Drahte verbindet, der durch die Wasserleitung mit der Erde [in Verbindung steht. Dieser Draht, den Sie längs der Wand geführt sehen, heisst kurz: die Erdleitung und wird von uns oft benutzt werden.

Jetzt wollen wir die naheliegende Frage lösen: Lässt sich in einem Leiter nur eine bestimmte Menge von Influenzelektrizität erregen, oder ist der Elektrizitätsvorrat eines Leiters ein unbegrenzter?

Zu diesem Zweck lade ich das Elektrometer (A, Fig. 26), dem ich ein Metallstäbchen mit einer zweiten, horizontal vorstehenden Kugel angeschraubt habe, so, dass es eine Ladung von genau 7 Einheiten zeigt, und nähere ihm ein mit einer Gradskala versehenes, ausserordentlich empfindliches Aluminiumelektroskop (B). — Sie sehen, wie der Ausschlag des Elektrometers sich vermindert, während das ursprünglich

unelektrische Elektroskop (B) eine gewisse Ladung zeigt. Berühre ich den Kopf des Elektroskopes mit dem Finger, so geht die gleichnamige Ladung fort. Nach Fortnahme des Fingers und Entfernung des Elektroskopes zeigt dieses natürlich die ungleichnamige Elektrizität, aber — das Elektrometer zeigt jetzt wieder genau 7 Einheiten! Ich kann den Versuch beliebig oft wiederholen, und so nach und nach eine unbegrenzte Menge Influenzelektrizität ($\pm E$) im

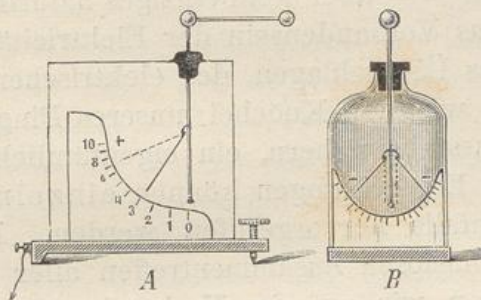


Fig. 26.
Influenz-Versuch.

Elektroskop (B) erzeugen, ohne dass der influierende Körper eine Spur seiner Ladung verliert! Hieraus erkennen wir Folgendes:

Ein unelektrischer Leiter (hier das Elektroskop B) scheint entweder eine unbegrenzte Menge beider Elektricitäten aufgespeichert zu haben, oder im Stande zu sein, jederzeit den Verlust an $\pm E$ sofort wieder auszugleichen.

Wie sollen wir uns das vorstellen?

* * *

Wir haben, nachdem uns das Vorhandensein zweier, Hypothesen.
von einander verschiedener elektrischer Zustände zur Gewissheit geworden, von „zwei Elektricitäten“ gesprochen, ohne uns eine rechte Vorstellung von dem Wesen der Elektricität zu machen. Wir wollten nämlich die Erscheinungen mit unbefangenen Blicke prüfen. — Jetzt, wo wir die wichtigsten Grunderscheinungen kennen gelernt haben, wollen wir versuchen, uns eine Vorstellung von dieser rätselhaften Kraft zu bilden, d. h. wir wollen eine Hypothese entwerfen, die alle beobachteten Erscheinungen im Zusammenhange

erklärt, ohne — und das ist sehr wichtig — mit irgend einer beobachteten Thatsache im Widerspruch zu stehen.

Die Schwierigkeiten, die uns hierbei in den Weg treten, sind grösser, als auf anderen Gebieten der Physik, weil wir kein besonderes Sinnesorgan zur Wahrnehmung der Elektrizität besitzen. Das Ohr hört den Schall, das Auge sieht das Licht, der Temperatursinn der Hautnerven nimmt die Wärme wahr — — aber kein einziges natürliches Werkzeug offenbart uns das Vorhandensein der Elektrizität. Wir sehen und hören das Überschlagen des elektrischen Funkens und fühlen, wenn wir den Knöchel unseres Fingers dem stark elektrischen Glasstabe nähern, ein eigentümliches Prickeln — aber alle diese Erscheinungen können einzeln durch andere Ursachen gleichfalls hervorgerufen werden. Erst aus dem stetigen, ausnahmslosen Zusammentreffen aller dieser Erscheinungen schliessen wir auf das Vorhandensein einer gemeinschaftlichen Ursache, die wir die elektrische Kraft nennen. Zu diesem Schlusse konnte man erst nach vielen Beobachtungen und besonders angestellten Versuchen kommen. So konnten zwei Jahrtausende vergehen, ehe man begann die elektrischen Erscheinungen durch Versuche zu studieren.

Symmer's
Hypothese
zweier
elektrischer
Fluida.

Erst 134 Jahre ist es her, dass Symmer (1759) die uns bekannten Erscheinungen durch Annahme zweier elektrischer Fluida (gasförmiger Flüssigkeiten) zu erklären versuchte. Nach dieser Hypothese, welche die dualistische genannt wird, hat jeder Körper zwei gewichtslose¹⁵⁾ Fluida, welche sich gegenseitig anziehen und halten, während Teilchen desselben Fluidums sich gegenseitig abstossen. Unsere bisherige Ausdrucksweise schliesst sich dieser Vorstellung an. — Wie bewährt sich nun diese Hypothese? Die Grunderscheinungen lassen sich mit Hülfe derselben recht gut erklären, aber — — was entsteht aus den sich verbindenden elektrischen Fluiden? und wo kommen denn die unbegrenzten Mengen der elektrischen Flüssigkeiten her, die beim Reiben der

¹⁵⁾ Schon bei unserem allerersten Versuch (S. 1) erkannten wir, dass der elektrisierte Körper keinen wägbaren Stoff aufgenommen oder abgegeben haben könne.

Körper oder bei den Influenzversuchen erzeugt werden können? Durch die Bewegung des Reibens oder durch die Annäherung des influierenden Körpers kann doch nichts Stoffliches erzeugt werden, da die Bewegung doch nur eine Zustandsänderung des Körpers ist! Wir müssen die dualistische Hypothese fallen lassen! Wenn wir dennoch von „zwei Elektrizitäten“ und vom „Fließen“ oder „Strömen“ der Elektrizität sprechen, so wollen wir das nur in bildlicher Redeweise thun.

Schon etwas früher, als Symmer, hatten Aepinus und Franklin (1750) die unitarische Hypothese aufgestellt, welche nur ein einziges elektrisches Fluidum, die positive Elektrizität, annahm. Bis in die neuere Zeit herrschte die dualistische Anschauung und hat noch jetzt viele Anhänger, da ihre Einfachheit bestechend wirkt, doch haben die neuesten wissenschaftlichen Ergebnisse die unitarische Hypothese wieder in den Vordergrund gerückt.

Nach der unitarischen Hypothese ist ein Körper unelektrisch, wenn er ebenso viel Elektrizität enthält, als seine Umgebung (vergl. S. 44); hat er mehr Elektrizität, so ist er positiv elektrisch (daher $+E$), hat er weniger Elektrizität, so ist er negativ elektrisch ($-E$). *Die positive Elektrizität ist mithin ein Überschuss, die negative Elektrizität ein Unterschuss¹⁶⁾ an Elektrizität, im Vergleich zur Umgebung.* — Am besten können Sie sich die elektrischen Zustandsgrade in der Weise vorstellen, wie Sie es bei der — an den Thermometern abgelesenen — Temperatur gewöhnt sind. Einen willkürlichen Wärmegrad, den des schmelzenden Eises, bezeichnen wir bekanntlich mit Null. Die Grade unter 0 zählen wir *negativ* und nennen sie Kältegrade, obgleich wir wissen, dass Kälte nur ein geringerer Grad der Wärme ist. — Bei der Elektrizität nehmen wir ebenfalls einen willkürlichen Nullpunkt — den Zustandsgrad der Erde — an und sagen: Ein Körper hat positive Elektrizität, wenn er mit der Erde leitend verbunden, an diese Elektrizität abgibt,

Unitarische
Hypothese.

Analogie
zwischen
Elektrizität
und Wärme.

¹⁶⁾ Wir haben den selten gebrauchten deutschen Ausdruck „Unterschuss“ dem Fremdwort „Deficit“ vorgezogen, weil er schärfer, wie dieses, den Gegensatz zu „Überschuss“ bezeichnet.

dagegen negative Elektrizität, wenn das Umgekehrte stattfindet.

Die Thatsache, dass wir (durch Reiben oder durch Influenz) unbegrenzte Mengen Elektrizität hervorrufen können, zwingt uns — wenn wir das Vorhandensein eines einzigen elektrischen Fluidums annehmen wollen — einen überall im Raume vorhandenen, gewichtslosen Stoff anzunehmen, der im unelektrischen Körper die Verluste an $\pm E$ sofort wieder ausgleicht — — das kann nur der alles durchdringende, im ganzen Weltenraum vorhandene Äther (Lichtäther) sein. — Wie bei einer Wasseroberfläche Wellenberge und Wellenthäler in unendlicher Anzahl aufeinander folgen können, wenn die treibende Kraft, z. B. die des Windes, anhält, ohne dass die gesamte Wassermenge sich vermehrt oder vermindert, so können wir uns eine stellenweise Verdichtung und an einer anderen Stelle eine entsprechende Verdünnung des Äthers denken, welche in den betreffenden Körpern den elektrischen Zustand bedingt, oder eine besondere Art der Wellenbewegung des Äthers annehmen, der also Träger der Elektrizität ist. Beim Elektrisieren findet eine Übertragung der Ätherbewegung, welche wir Elektrizität nennen, von einem Ort (Körper) auf den anderen statt. Wird der Körper A mit dem Körper B gerieben und dabei ersterer positiv elektrisch, der andere negativ elektrisch, so ist gewissermaßen in A ein elektrischer Wellenberg, und in B ein elektrisches Wellenthal entstanden, doch ist die Gesamtmenge Elektrizität, die A und B zusammen haben, unverändert geblieben. Dasselbe ist bei einem Körper der Fall, wo durch Influenz beide Elektrizitäten getrennt, d. h. an dem einen Ende ein Überschuss an dem anderen ein Unterschuss an Elektrizität erzeugt ist. Da nun bei Vereinigung von $+E$ und $-E$ nur Wellenberg und Wellenthal wieder zusammenfallen und das ursprüngliche Niveau wieder hergestellt wird, so kann der Vorgang der Elektrisierung beliebig oft wiederholt werden.

Das Wesen der Elektrizität, d. h. die Art der Zustandsänderung des hypothetischen Äthers, ist uns noch völlig unbekannt — die von uns beobachteten elektrischen Gesetze dagegen behalten ihre Gültigkeit, da sie auf keiner hypothetischen Voraussetzung beruhen, sondern nur ein Aus-

druck für die Art und Weise sind, wie die elektrischen Kräfte aufeinander wirken.

Ist die Annahme des Äthers als gemeinschaftlichen Trägers der elektrischen und optischen Erscheinungen richtig, so ist eine gewisse Beziehung zwischen Elektrizität und Licht in hohem Grade wahrscheinlich. Die neuesten Forschungen haben nun solche Beziehungen thatsächlich gezeigt und wir werden später einige derselben kennen lernen.

* * *

Kehren wir nun zu unseren Versuchen über die elektrischen Fernwirkungen zurück. Es drängt sich uns die Frage auf, ob die Beschaffenheit der Körper, welche zwischen dem influierenden Körper und dem Leiter sich befinden, einen Einfluss auf die Influenzwirkung hat!

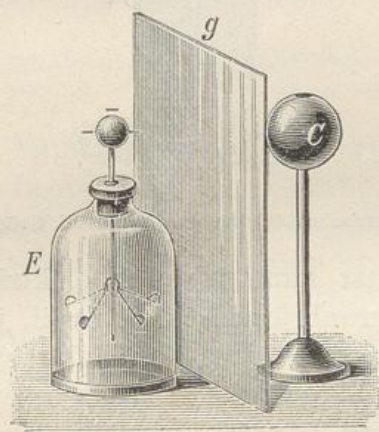


Fig. 27.
Elektrische Schirmwirkung. $\frac{1}{8}$ natürl. Grösse.

Ich lade ein Papierelektroskop (E, Fig. 27) mit — E und stelle die mit + E geladene, isolierte grosse Kugel in die Nähe, so dass durch die Influenzwirkung der Ausschlag der Blättchen vermindert wird. (In Fig. 27 ist die ursprüngliche Stellung der Blättchen punktiert angegeben.) Jetzt stelle ich zwischen den influierenden Körper (C) und das Elektroskop (E) eine isolierende Glastafel (g) — die Wirkung auf das Elektroskop bleibt unverändert, ebenso wenn ich eine Ebonit- oder eine Glimmerplatte statt der Glasplatte anwende. Wir erkennen hieraus, dass die

Kolbe.

Strahlen der elektrischen Kraft¹⁷⁾ die Isolatoren ungehindert durchdringen. Das erscheint auf den ersten Blick auffallend, ist es aber nicht, wenn wir bedenken, dass die Luft doch auch ein Isolator ist.

Schirm-
wirkung von
Draht-
netzen.

Nun ersetze ich die isolierende Platte (g, Fig. 27) durch eine Blechtafel. — Sofort sehen Sie, wie die Influenzwirkung der Kugel C auf das Elektroskop bedeutend geschwächt wird. Ein engmaschiges Drahtnetz hat dieselbe Wirkung.

Noch entscheidender ist folgender Versuch. Auf eine Blechplatte (p, Fig. 28) stelle ich das sehr empfindliche Aluminiumelektroskop, lade es, und stülpe einen Drahtnetzcyliner darüber, so dass das Elektroskop ringsum von einem Leiter

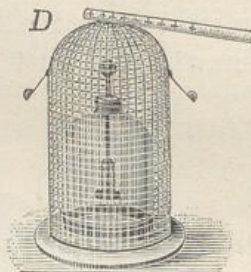


Fig. 28.

Elektrisches Schutznetz. $\frac{1}{8}$ natürl. Grösse.

umgeben ist. Jetzt kann ich den elektrischen Glasstab so nahe an das Netz heranbringen, als ich will, ja — sogar Funken überschlagen lassen, ohne dass das Elektroskop eine Zustandsänderung erfährt, während die am Netz befestigten Papierblättchen den elektrischen Zustand desselben anzeigen. Ich wiederhole den Versuch, nachdem ich das Elektroskop entladen, — es erfolgt keinerlei Influenzwirkung! Wir können sagen: Das Elektroskop befindet sich im elektrischen Schatten des umschliessenden Drahtnetzes. Das Drahtnetz wirkt, wie ein Schirm gegen Lichtstrahlen, d. h.:

Die Strahlen der elektrischen Kraft werden durch Leiter zurückgehalten, gehen aber durch Isolatoren hindurch!

¹⁷⁾ Unter „Strahlen elektrischer Kraft“ wollen wir die Richtung verstehen, in welcher die beobachtete elektrische Fernwirkung erfolgt, wie wir mit „Lichtstrahlen“ die Richtung bezeichnen, in der, an einer bestimmten Stelle des Raumes, die Wellenzüge des Lichtes auf einander folgen.

Senke ich den influierenden Körper, z. B. eine isolierte Kugel, in das Innere einer abgeleiteten Hohlkugel, so findet keine Influenzwirkung auf ein nebenstehendes Elektroskop statt (Faraday). Sollte diese elektrische Schirmwirkung von Metallplatten oder Drahtnetzen nicht auch im Stande sein, die entladende Kraft einer Flamme zu hemmen, d. h. eine negative Wirkung auszuüben?

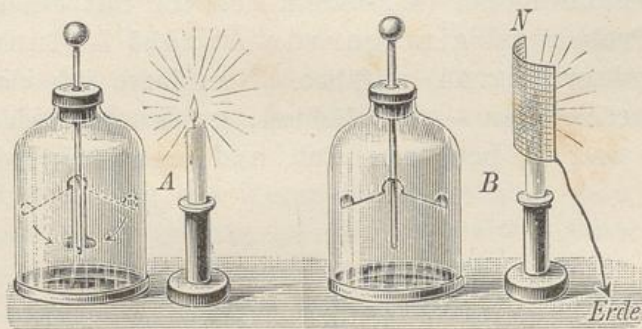


Fig. 29.

A. Spitzenwirkung einer Kerzenflamme.

B. Negative Schirmwirkung eines Drahtnetzes.

Ich lade ein Papierelektroskop (A, Fig. 29) und stelle ein brennendes Licht in die Nähe — Sie sehen, wie die Ladung des Elektroskopes sehr rasch abnimmt. Jetzt befestige ich ein zu einem Halbcylinder gebogenes Drahtnetz (B, Fig. 29, N) so vor der Flamme, dass alle von der Flammenspitze ausgehenden Lichtstrahlen, welche das Elektroskop treffen könnten, durch des Schutznetz gehen müssen. Teile ich nun dem Elektroskop eine Ladung mit, so erhält sie sich unverändert! Jetzt werden Sie die Bedeutung des Schutznetzes bei der Projektionslampe (N, Fig. 15, S. 27) verstehen.

* * *

Wir wollen uns jetzt die Aufgabe stellen: zu ermitteln, in welchem Zusammenhange die Stärke der elektrischen Abstossung zwischen zwei isolierten, gleichnamig-electrischen Körpern mit der Grösse der Ladung und mit der Entfernung der beiden Körper steht.

Hier sehen Sie (Fig. 30) zwei kugelförmige Hohlkörper (p und k) aus Goldpapier geklebt (oben mit einer Öffnung), von

Ableitung
des Gesetzes
der elektri-
schen Ab-
stossung.

4*

denen der eine (p) an zwei langen Seidenfäden, der andere (k) auf einem isolierenden Stäbchen so befestigt ist, dass beide Körper sich in der Ruhelage gerade berühren. Eine dahinter aufgestellte Millimeterskala gestattet uns, die seitliche Ablenkung des elektrischen Pendels (p) zu messen.

Einfluss der
Ladungs-
stärke des
influierend.
Körpers.

Vermittelst eines Ebonitstabes, den ich an die Seidenfäden anlege, schiebe ich das Pendel p ein wenig zur Seite und lade die feststehende Kugel (k), indem ich ihr mit einer kleinen isolierten Probekugel eine gerade Anzahl Ladungen vom Kegelkonduktor (Fig. 14) zuführe. Nun lasse ich das Pendel langsam zurückfallen — die beiden, genau gleich grossen Körper p und k berühren sich und werden gleichstark

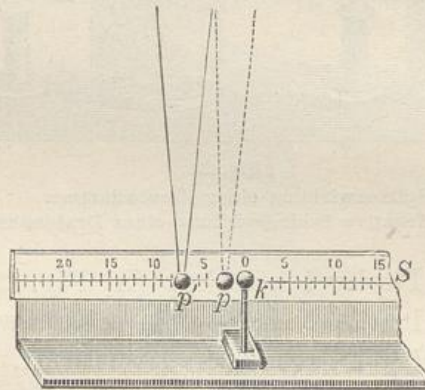


Fig. 30.

Pendel-Elektrometer nach Odstrčil. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

geladen. Durch die elektrische Abstossung wird jetzt p von k abgelenkt und nimmt eine neue Ruhelage (p' Fig. 30) an. Das Pendel p hat ein kleines Stück einer Kreislinie beschrieben, deren Mittelpunkt der Aufhängepunkt der beiden Seidenfäden ist. Die Schwerkraft der Erde ist bestrebt, das Pendel zurückzuziehen, dem wirkt die elektrische Abstossungskraft entgegen. Wie die Rechnung lehrt, ist, wegen der langen Fäden an denen das Pendel hängt und der kleinen Ausschläge, die wir anwenden, der Winkel um welchen das Pendel abgelenkt ist, sehr klein. Nach Gesetzen der Mechanik, die uns hier zu weit führen würden, ist in diesem Falle die Wirkung der Schwerkraft den seitlichen Ablenkungen des Pendels, die wir in Centimetern messen wollen, proportional. Da nun die elektrische Abstossungskraft der Wirkung der Schwerkraft das

Gleichgewicht hält, ihr also (entgegengesetzt) gleich ist, so bildet die in Centimetern abgelesene Entfernung der Kugelmittelpunkte¹⁸⁾ (p und k) ein Maass für die elektrische Abstossungskraft.

Beginnen wir unsere Versuche! Ich entlade zunächst beide Kugeln und gebe, in der angegebenen Weise, der festen Kugel 2 Ladungen, mithin erhält nach der Berührung jede Kugel 1 Ladung — die Entfernung der Mittelpunkte beträgt $a = 3$ cm! Ich füge bei k noch eine Ladung hinzu, also hat k 2 Ladungen, p nur 1 Ladung — der Ausschlag $= 6$ cm. Bei 3-facher Ladung von k wird der Ausschlag $= 9$ cm, also 3 mal grösser.

Wiederhole ich die Versuche, gebe aber dem Pendel (p) 2 Ladungen, so erhalte ich die doppelten Ausschläge, wie vorhin, wie folgende kleine Tabelle zeigt:

	Pendel p	Standkugel k	Ablenkung a
I. Versuch {	1 Ladung	1 Ladung	$3 \text{ cm} = 1 \cdot 1 \cdot (3 \text{ cm})$
	1 Ladung	2 Ladungen	$6 \text{ cm} = 1 \cdot 2 \cdot (3 \text{ cm})$
	1 Ladung	3 Ladungen	$9 \text{ cm} = 1 \cdot 3 \cdot (3 \text{ cm})$
II. Versuch {	2 Ladungen	1 Ladung	$6 \text{ cm} = 2 \cdot 1 \cdot (3 \text{ cm})$
	2 Ladungen	2 Ladungen	$12 \text{ cm} = 2 \cdot 2 \cdot (3 \text{ cm})$
	2 Ladungen	3 Ladungen	$18 \text{ cm} = 2 \cdot 3 \cdot (3 \text{ cm})$

Wir können die in der letzten Kolonne (a) enthaltenen Zahlen erhalten, indem wir das Produkt der Anzahl Ladungen (von p und k) mit einem konstanten Faktor (3 cm) multiplicieren, der von der als Einheit benutzten Elektrizitätsmenge abhängt, und derjenigen Abstossungskraft entspricht, welche beide Körper auf einander ausüben, wenn

¹⁸⁾ Nach den Gesetzen der Mechanik wirkt eine gleichartige (homogene) Kugel auf einen Punkt an ihrer Oberfläche genau so, als wäre die ganze Masse der Kugel im Mittelpunkt vereinigt und wirke also aus der Entfernung r ($=$ der des Halbmessers). Bei Hohlkugeln ist dasselbe der Fall, daher wirkt bei Berührung des Pendels p mit k die Abstossung so, als wären die beiden elektrischen Ladungen in den Mittelpunkten konzentriert, also im Abstände $2r$ von einander.

jeder mit der Einheit der Elektrizitätsmenge geladen ist. — Wir können mithin vorläufig sagen:

Die abstossende Kraft zweier gleichnamig-elektrischer Körper steht im geraden Verhältnis zur Ladungsstärke; oder wenn e und e' die Ladungen bezeichnen:

$$a = e \cdot e' \cdot \text{konst.}$$

* * *

Einfluss der
Entfernung
des influier.
Körpers.

Jetzt wollen wir den Einfluss der Entfernung beider Körper studieren.

Da die beiden Hohlkugeln p und k 2 cm Durchmesser, oder 1 cm Halbmesser haben, so stehen ihre Mittelpunkte bei der Berührung (p, k , Fig. 31), d. h. in der Ruhelage um genau 2 cm von einander ab. Diese Entfernung $d = 2$ cm wollen wir zur Einheit nehmen.

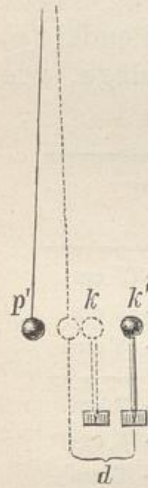


Fig. 31.

Ich gebe der Kugel p 1 Ladung und der festen Kugel k 4 Ladungen. Die Ablenkung $a = 12$ cm. Jetzt rücke ich k in die Stellung k' Fig. 31, sodass — wenn p in der Ruhelage wäre — der Abstand der Mittelpunkte $d' = 4$ cm $= 2d$ betrüge. Der Ausschlag a' ist nun $= 3$ cm (von der Ruhelage). Ich rücke k nochmals um 2 cm nach rechts, sodass $d'' = 6$ cm $= 3d$ ist — der Ausschlag $a'' = 1,3$ cm. — Stellen wir wiederum die Resultate übersichtlich zusammen:

Entfernung der Kugel- mittelpunkte in der Ruhelage	Ausschlag des Pendels (aus der Ruhelage)
2 cm $= d$	12 cm $= \frac{12}{1} = \frac{12}{1^2}$
4 cm $= 2d$	3 cm $= \frac{12}{4} = \frac{12}{2^2}$
6 cm $= 3d$	1,3 cm $= \frac{12}{9} = \frac{12}{3^2}$

Wir sehen hieraus: Rücken beide Kugeln in die 1, 2, 3 ... n-fache Entfernung, so sinkt die Ablenkung, also auch die ihr proportionale elektrische Abstossungskraft auf $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$... $\frac{1}{n^2}$, d. h.: Die abstossende Kraft zweier gleichnamig elektrischer Körper steht im umgekehrten Ver-

hältnis zum Quadrat der Entfernung der Kugelmittelpunkte.

Ist nun die Entfernung der Kugelmittelpunkte $= r$, so ist die Abstossungskraft umgekehrt proportional zu r^2 oder direkt proportional dem reciproken Werte $1/r^2$. Vorhin fanden wir, dass die Abstossungskraft zweier gleichnamig elektrischer Körper gleich dem Produkte der beiden elektrischen Ladungen sei (a. d. v. S.); also lautet das vollständige Gesetz der elektrischen Abstossung:

Die elektrische Abstossungskraft zweier gleichnamig elektrischer Kugeln ist gleich dem Produkt der beiden Elektrizitätsmengen, dividiert durch das Quadrat des Abstandes (der Mittelpunkte). Coulomb'sches Gesetz.

Sind beide Körper ungleichnamig elektrisch so tritt statt Abstossung eine der absoluten Grösse nach gleiche Anziehung ein, die wir als eine negative Abstossung ansehen können.

Bei gleichnamig elektrischen Körpern ist

$$a = \frac{e \cdot e'}{r^2}; \text{ oder } \frac{(-e) \cdot (-e')}{r^2} = + \frac{e \cdot e'}{r^2} \quad \left. \vphantom{\frac{e \cdot e'}{r^2}} \right\} \quad \cdot \cdot (2).$$

Bei ungleichnamig elektrischen Körpern ist

$$a = \frac{e \cdot (-e')}{r^2}; \text{ oder } \frac{(-e) \cdot (+e')}{r^2} = - \frac{e \cdot e'}{r^2} \quad \left. \vphantom{\frac{e \cdot e'}{r^2}} \right\}$$

* *

Dies Gesetz der elektrischen Abstossung ist zuerst von Coulomb (1785) auf einem sehr mühsamen Wege gefunden. Die von uns benutzte einfache Versuchsanordnung ist neuerdings von Odstrčil angegeben worden (Anh. 7).

Wir haben gesehen, dass ein ringsum von einem Leiter umgebenes Elektroskop keinerlei Influenzwirkung seitens eines von aussen genäherten elektrischen Körpers erfährt, ebenso wenig, wenn der umgebende Leiter elektrisiert wird. Für eine umschliessende Hohlkugel, wo die Elektrizität sich gleichmässig auf der äusseren Oberfläche lagert, folgt für das eben gefundene umgekehrt quadratische Gesetz — und zwar nur für ein solches —, dass die Wirkung der elektrischen Oberfläche auf einen Punkt des Hohlraumes $= 0$ ist. Die beobachtete Thatsache, dass die Elektrizität nur auf der äusseren Oberfläche eines isolierten Leiters ihren Sitz hat, bildet zugleich den schärfsten Beweis für die Gültigkeit des Coulomb'schen Gesetzes!

* *

Unser heutiges Ziel ist fast erreicht. Es bleibt uns nur noch übrig, zu untersuchen, in welchem Zusammenhange die Menge der Influenzelektricität mit der Entfernung und mit der Ladungsstärke des influierenden Körpers steht.

Ich setze das Elektrometer (E, Fig. 32) so auf den Schlitten (S) der optischen Bank, dass der Mittelpunkt der Elektrometerkugel (b) genau über dem Nullpunkt der Millimeterskala zu stehen kommt.

Die isolierte Hohlkugel (K) befindet sich in gleicher Höhe mit b. — Wird K nun stark elektrisiert und langsam nach dem Elektrometer zu geschoben, so beginnt das Blättchen sich allmählig zu heben — so! nun steht es genau auf 1,0! Die

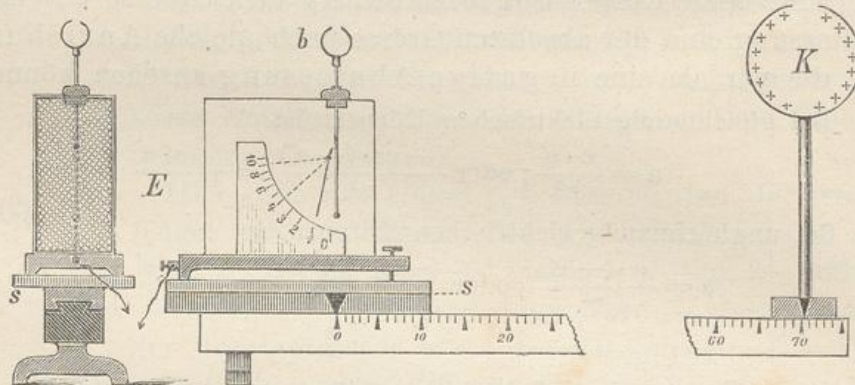


Fig. 32.

Quantitativer Influenzversuch. $\frac{1}{8}$ natürl. Grösse.

Entfernung beider Kugelmittelpunkte beträgt 70 cm. — Rücke ich K auf die halbe Entfernung $70/2 = 35$ cm, so zeigt das Elektrometer den Ausschlag 4,0; er ist also 4 mal grösser. Stelle ich K auf in $\frac{1}{3}$ der Entfernung, d. h. in einem Abstand von $70/3 = 23,3$ cm, so zeigt das Elektrometer 9,0, also einen 9 mal grösseren Ausschlag. Da, wie wir wissen, bei der Influenz $+E$ und $-E$ in gleichen Mengen erzeugt werden, so erhalten wir auch hier das umgekehrt quadratische Gesetz:

1. Influenzgesetz.

Die durch Influenz erzeugten Mengen $\pm E$ stehen im umgekehrten Verhältniss zu dem Quadrat der Entfernung.

Berühre ich die influierende Kugel K mit einer genau eben so grossen isolierten Kugel, so bleibt der Ausschlag am Elektrometer derselbe. Entferne ich die berührende Kugel, so

behält K nur die halbe Ladung und — Sie sehen, der Ausschlag am Elektrometer ist von 9,0 auf 4,5 gesunken, also nur halb so gross! Wiederhole ich die Berührung mit der wieder entladenen Hülfskugel, so zeigt das Elektrometer nach ihrer Entfernung nur noch 2,25, also $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen Wertes.

Die durch Influenz in einem unelektrischen Leiter erzeugte Menge $\pm E$ steht im geraden Verhältnis zu der Ladungsstärke (J) des influierenden Körpers. Für die Entfernung r ist demnach das vollständige Influenzgesetz

2. Influenzgesetz.

$$\pm E = \frac{J}{r^2} \cdot k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

der Ausdruck für die durch Influenz erzeugte Elektrizitätsmenge (E), wo k ein unveränderlicher (konstanter) Faktor ist, dessen Bedeutung wir später (S. 79) kennen lernen werden.

* * *

Das von uns soeben gefundene Influenzgesetz gibt uns einen Aufschluss über den Grund der Anziehung unelektrischer Körper durch elektrische.

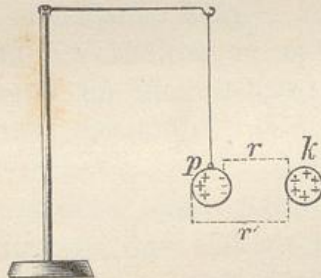


Fig. 33.

Ist p (Fig. 33) eines der von uns anfangs benutzten elektrischen Pendel und k ein elektrisierter Körper, so wird im unelektrischen Pendel p durch Influenz $+e$ und $-e$ erzeugt. Die ungleichnamige Elektrizität begiebt sich auf die dem influierenden Körper zugewandte Seite, ist mithin diesem näher (r ist kleiner als r'), daher wird die Anziehung, die k ausübt, grösser sein müssen, als die Abstossung; und zwar wird, je näher der influierende Körper kommt, die Anziehung immer mehr überwiegen, und schliesslich so stark werden, dass der

Luftwiderstand überwunden werden kann. Die ungleichnamige Elektrizität verlässt das Pendel p und neutralisiert auf k eine entsprechende Menge ungleichnamige Elektrizität des influierenden Körpers k . Auf p bleibt mithin gleichnamige Elektrizität zurück, wodurch das Pendel jetzt abgestossen wird. Es giebt also keine elektrische Ladung durch Mittheilung, sondern nur durch Influenz!

Damit wollen wir unsere heutige Wanderung abschliessen.