



Einführung in die Elektricitätslehre

Kolbe, Bruno

Berlin, 1893

II. Vortrag: Sitz der Elektricität auf einem isolierten Leiter; Grund für die Verteilung der Elektricität auf der äusseren Oberfläche eines Leiters (nach Lenz). - Abhängigkeit des elektrischen ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-82505](#)

II. Vortrag.

Sitz der Elektricität auf einem isolierten Leiter; Bedingung für die vollständige Abgabe der Elektricität einer Probekugel an das Elektroskop; Aichung des Elektroskops; Analogie zwischen Elektroskop und Thermoskop; Das Aluminiumelektrometer; Aichungsskala; Versuche am Kegelkondukte; Verschiedenheit der elektrischen Dichte auf ungleichgekrümmten Oberflächenteilen; Konstanz des elektroskopischen Zustandes; Verteilung der elektrischen Dichte auf einem isolierten Leiter in Beziehung zur Krümmung der Oberflächenteile; Spitzenwirkung; Entladungsfähigkeit der Flammen.

Die erste Tagereise haben wir zurückgelegt! Ein Wanderer, der sich den eingeschlagenen Weg merken will, thut wohl daran, von Zeit zu Zeit einen Blick rückwärts zu werfen, auf die Windungen des Pfades zu achten und besonders charakteristische Stellen dem Gedächtnis einzuprägen. So wollen auch wir bei unserer Wanderung durch das noch vielfach unerforschte Gebiet der Elektricität von Zeit zu Zeit zurückblicken und die wichtigsten der beobachteten Erscheinungen an unserem geistigen Auge vorüberziehen lassen.

Wir erkannten neulich:

Rückblick.

1. Alle Körper werden beim Reiben oder durch Berührung mit elektrischen Körpern elektrisch, jedoch müssen Leiter vorher isoliert werden, damit sie die gewonnene Elektricität behalten. Auf die Stärke der beim Reiben erzeugten elektrischen Ladung hat die Beschaffenheit des Reibzeugs einen wesentlichen Einfluss. Je weiter Reiber und Reibzeug in der elektrischen Spannungsreihe auseinanderstehen, um so grösser ist im allgemeinen die Wirkung.
2. Wird ein elektrisierter Leiter in leitende Verbindung mit der Erde gebracht, die selbst ein Leiter ist — etwa so, dass man ihn mit der Hand berührt — so wird er entladen, d. h. unelektrisch gemacht. Ist hingegen der berührende Leiter isoliert, so geht ein Teil der elektrischen Ladung vom elektrisierten Körper auf den unelektrischen

Leiter über, der dadurch selbst elektrisch wird (Ladung durch Mitteilung); sind zwei Körper gleich stark elektrisch geladen, so geht bei gegenseitiger Berührung keine Elektricität von einem Körper zum anderen über.

3. Es giebt nur zwei verschiedene elektrische Zustände, die sich entgegengesetzt sind, indem gleiche Mengen $+ E$ und $- E$ auf einen Körper gebracht, sich in ihrer Wirkung aufheben ($\pm E = 0$). Reiber und Reibzeug haben immer entgegengesetzte Elektricität. Beim Reiben erhält das englische Flintglas positive und die Harze (noch sicherer Speckstein) negative Eiektricität. — Bewirkt die langsame Annäherung eines elektrischen Körpers an ein geladenes Elektroskop eine Vergrösserung des Ausschlages der Blättchen, so hat der Körper dieselbe Elektricität, wie das Elektroskop, dagegen die entgegengesetzte, wenn die Blättchen zusammenfallen (Probe). Gleichnamig elektrische Körper stossen sich ab, ungleichnamig elektrische ziehen sich an.

* * *

Wir wollen uns jetzt die Frage vorlegen: Wo ist der Sitz der Elektricität bei einem elektrisierten Körper?

Da, wie wir wissen, die Isolatoren die Elektricität nicht fortleiten, so ist es wahrscheinlich, dass bei ihnen die Elektricität dort verharren wird, wo sie durch Reibung erzeugt oder durch Mitteilung hingelangt war, d. h. an den Berührungsstellen. Ist diese Voraussetzung richtig, so wird die Entladung eines elektrisierten Isolators bei Berührung mit der Hand auch nur an der Berührungsstelle stattfinden. Davon können wir uns leicht durch einen Versuch überzeugen.

Ich lade ein Elektroskop mit dem elektrisierten Flintglasstäbe — bei der Annäherung des Stabes gehen die Blättchen weiter auseinander und zeigen damit an, dass der Stab elektrisch ist. Nun berühre ich den Stab, indem ich die elektrische Oberfläche mit der Hand umfasse — Sie sehen, die nicht unmittelbar berührten Oberflächenteile erweisen sich noch als stark elektrisch. Jetzt versuche ich den Glasstab durch wiederholtes Anfassen ganz zu entladen — es will jedoch nicht recht gelingen! Um ihn ganz unelektrisch zu machen, muss ich ihn

durch eine Spiritusflamme⁷⁾ ziehen, oder über derselben hin- und herwenden. (Diese entladende Wirkung der Flamme wollen wir später genauer untersuchen.)

Wo ist nun aber der Sitz der Elektricität bei einem, natürlich isolierten, Leiter?

Hier sehen Sie (A, Fig. 9) ein feinmaschiges, biegssames Drahtnetz (N), welches durch den Ebonitständer (i) isoliert ist. An diesem Netz sind beiderseits bewegliche Papierstreifen angebracht, die auf der einen Netzseite rot, auf der anderen grün sind. Vermittelst der isolierenden Handgriffe (g_1 und g_2) kann ich das Netz nach Belieben biegen. — Jetzt lade ich das Netz

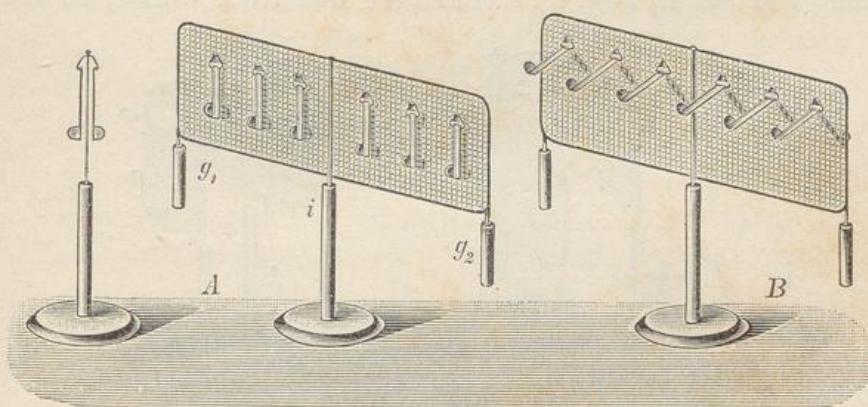


Fig. 9.

Isoliertes Drahtnetz mit beweglichen Papierblättchen nach Vanderfliet; modifiziert.
 $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

vermittelst des Flintglasstabes, indem ich ihn an den oberen Netzrand drücke und ihn so abziehe, dass möglichst viele Oberflächenpunkte des Glasstabes mit dem Netzrande in Berührung kommen — Sie sehen, wie alle Blättchen sich heben, und jetzt, wo die Netzfläche eben ist, auf beiden Seiten gleich grosse Ausschläge zeigen (B, Fig. 9).

Nun bitte ich Sie, Ihre Aufmerksamkeit auf die Ihnen zugekehrten roten Blättchen zu richten! Ich ergreife die beiden

⁷⁾ Zum Entladen eines Isolators kann jede nicht russende Flamme dienen (s. d. Schluss dieses Vortrages). Da der Russ die Elektricität leitet, so ist eine Ablagerung desselben auf Körpern, die als Isolatoren dienen sollen, durchaus zu vermeiden; und zwar umso mehr, als er sich von etwas rauen Flächen meist nur durch sorgsames Waschen ganz entfernen lässt.

isolierenden Handgriffe (g_1 und g_2) und biege das Netz — Ihnen die hohle Seite zuwendend — allmählich zu einem Hohlcylinder zusammen. Sie bemerken, wie die roten Blättchen, die sich in dem entstehenden Hohlraum befinden, allmählich sich senken und — noch bevor die beiden Kanten des Netzes sich berühren — ganz zusammenfallen (A, Fig. 10), während die aussen befindlichen grünen Blättchen einen bedeutend grösseren Ausschlag zeigen, als vorhin! Nun biege ich den Cylinder langsam auf — die roten Blättchen heben sich allmählich wieder, während die grünen sich senken. Bei ebener Stellung des Netzes ist der Ausschlag der roten und grünen Blättchen wieder gleich (wie bei B, Fig. 9). Ich biege das Netz weiter, so dass

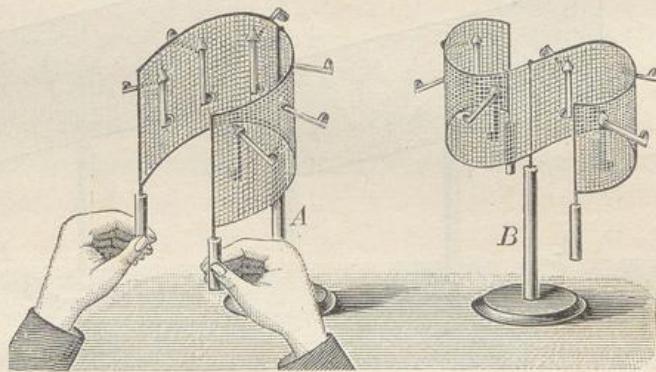


Fig. 10.
Demonstration der elektrischen Verteilung. $1/10$ natürl. Grösse.

jetzt die roten Blättchen auf der erhabenen (convexen) Seite liegen — Sie sehen dieselben sich noch weiter heben, während die grünen sich senken und schliesslich ganz zusammenfallen! Wir erkennen hieraus: Die elektrische Ladung ist bei ebener Stellung des Netzes auf beiden Seiten gleich verteilt, sobald aber das Netz gekrümmt wird, wandert die Ladung von der hohlen (concavem) Seite auf die convexe, die äussere Fläche, d. h.:

Der Sitz der Elektricität auf einem isolierten Leiter ist die äussere Oberfläche desselben, im Inneren eines (nahezu geschlossenen) hohlen Leiters giebt es keine freie Elektricität! Das ist ein sehr wichtiges Gesetz.

Ganz interessant ist die Notwendigkeit, die sich hieraus für ein ∞ -förmig gebogenes Netz ergibt. Es muss, da die beiden

Längsseiten des Netzes zugleich hohl und erhaben sind, die elektrische Ladung auf beiden Flächen des Netzes, aber nur auf den erhabenen Teilen auftreten. Ich gebe dem Netz diese Form — und Sie sehen, das ist thatsächlich der Fall (B, Fig. 10). Hierbei schneidet die Grenze der freien Elektricität das Netz in der Mitte, wo die eine Krümmung in die andere übergeht (im sogenannten Flexionspunkt).

Stellen wir uns vor, dass die elektrische Ladung eines Körpers aus kleinsten elektrischen Teilchen besteht — was jedoch nur als ein bildlicher Vergleich gelten darf —, so lässt

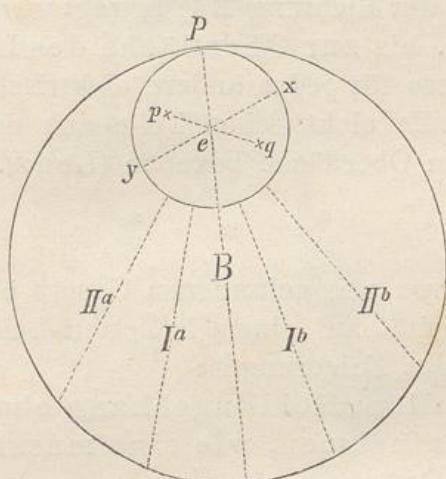


Fig. 11.

sich eine einfache Erklärung der beobachteten Erscheinungen auf Grund der abstossenden Kraft gleichnamig elektrischer Teilchen aufstellen.

Denken wir uns zunächst, dass alle elektrischen Teilchen im Inneren eines massiven, kugelförmigen Körpers gleichmässig verteilt seien, und fassen wir ein beliebig gewähltes Teilchen e (Fig. 11) ins Auge, dessen Abstand von der Oberfläche = a ist. Was wird dann geschehen? Offenbar wird das elektrische Teilchen e von allen benachbarten gleichnamig elektrischen Teilchen abgestossen. Innerhalb des mit dem Halbmesser a gezogenen Kreises werden sich aber immer zwei gleich weit entfernte, aber entgegengesetzt gelegene Teilchen finden, z. B. p und q , oder x und y u. s. w., d. h.: Die Wirkung aller um e herum innerhalb dieses Kreises liegenden elektrischen Teilchen

Lenz'sche
Erklärung.

muss sich in Bezug auf e völlig aufheben. Nun bleibt aber noch die abstossende Wirkung der Teilchen übrig, welche ausserhalb des Kreises^{s)} a liegen. Wie leicht ersichtlich, werden alle in der Linie B liegenden Teilchen auf e eine abstossende Kraft in der Richtung B P ausüben. Je zwei symmetrisch liegende Reihen, wie I^a und I^b oder II^a und II^b, werden, zusammenwirkend, nach dem Gesetz von dem Parallelogramm der Kräfte eine resultierende Kraft erzeugen, welche ebenfalls in der Richtung B P auf e abstossend wirkt. Mithin muss das elektrische Teilchen unter der Wirkung aller abstossenden Kräfte soweit in der Richtung B P bewegt werden, bis es nicht weiter kann, d. h. bis zur Oberfläche des Leiters B. — Da das Gesagte ebenso für jedes andere elektrische Teilchen gilt, so müssen sich alle elektrischen Teile aus dem Inneren des Leiters auf dessen Oberfläche begeben (Lenz).

* * *

Aus diesem von uns gefundenen Gesetz über die Ausbreitung der Elektricität auf einem isolierten Leiter ergeben sich nun einige wichtige Folgerungen:

1. Eine metallene Hohlkugel kann ebensoviel Elektricität aufnehmen, wie eine massive Kugel von gleicher Grösse.
2. Ein elektrisierter Leiter, welchen wir in das Innere eines metallenen Hohlkörpers bringen, muss — bei Berührung mit der Innenwand — seine ganze Ladung an die umschliessende Metallhülle abgeben.

Das erste Gesetz erlaubt uns, einen zur Ansammlung von Elektricität dienenden isolierten Leiter (einen sogenannten „Kondensator“) hohl, also möglichst leicht herzustellen, ohne dass seine Wirkung deshalb geringer würde. — Von dem zweiten Gesetz werden wir bald eine wichtige Anwendung machen; vorher will ich Ihnen noch zeigen, welchen Einfluss die

^{s)} Eigentlich haben wir uns unter A und a Kugeln vorzustellen. Die Zeichnung Fig. 11 stellt also einen Querschnitt dar. Die für beide Kreisflächen gefundenen Beziehungen zwischen den elektrischen Teilchen gelten aber auch für die Kugeln.

Vergrösserung der Oberfläche eines elektrisierten Leiters auf die elektrische Dichte hat.

In eine hohle Ebonitröhre (R, Fig. 12), die mit einem Gummi-Blasebalg verbunden ist (wie bei den Pulverisatoren), ist ein Metallrohr (m) eingeschoben, das mit 2 beweglichen Papierstreifchen versehen ist. Tauche ich nun die etwas erweiterte Mündung des Metallröhrcchens in eine Seifenlösung und elektrisiere sie nach dem Herausheben so stark, dass die Blättchen fast horizontal abstehen, so wird — wenn ich Luft durch die Röhre einblase — eine Seifenblase entstehen, und Sie sehen,

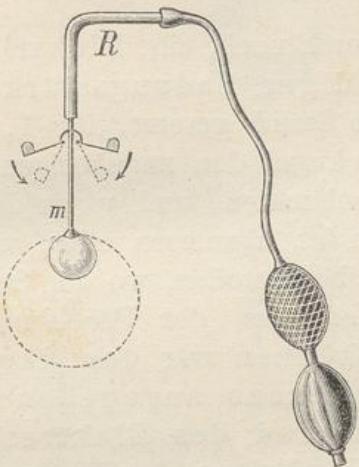


Fig. 12.

Seifenblasen-Apparat zum Nachweis der elektrischen Dichte. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

je grösser die Seifenblase wird, um so kleiner wird der Ausschlag der Blättchen! Löse ich vorsichtig den Gummischlauch von der Ebonitröhre, so tritt Luft aus, die Seifenblase zieht sich zusammen und in demselben Maasse wächst der Ausschlag der Blättchen. Da dieselbe Elektricitätsmenge sich beim Anwachsen der Seifenblase auf eine grössere Fläche verteilen muss, so kommt auf ein bestimmtes Flächenstück, z. B. 1 qcm, weniger Elektricität als vorher, die Elektricität ist gewissermaassen weniger dicht gelagert. Es folgt hieraus: Bei gleichbleibender Ladung nimmt die elektrische Dichte eines Körpers in dem Maasse ab, als seine Oberfläche vergrössert wird! Interessant ist nun die Frage: Wie lagert sich die Elektricität auf einem isolierten Leiter, der nicht kugelförmig ist, also an verschiedenen Stellen verschiedene

Krümmungen aufweist? Ehe wir an die Beantwortung dieser Frage gehen können, müssen wir uns nach einem geeigneten Messapparat umsehen.

In dem Bestreben der Elektricität, sich stets auf die äussere Oberfläche eines Leiters zu begeben, haben wir ein vortreffliches Mittel, um die ganze Ladung eines kleinen Leiters, z. B. einer kleinen Metallkugel, welche an einem genügend langen Ebonitstäbchen befestigt ist, auf ein Elektroskop zu übertragen, indem wir die Probekugel mit der Innenwand einer auf das Elektroskop geschraubten metallenen Hohlkugel in Berührung bringen.

Gelingt es uns auch noch, eine Elektricitätsquelle von möglichst beständiger Ladungsstärke aufzufinden, so werden wir in den Stand gesetzt, für 1, 2, 3 ... n gleiche Ladungen der Probekugel den zugehörigen Ausschlagswinkel der Blättchen zu beobachten, und wenn das Elektroskop mit einer Skala versehen ist, abzulesen oder, was noch bequemer ist, eine neue Skala herzustellen, wo der Stand des Blättchens bei 1, 2, 3 ... n Ladungen der Probekugel bezeichnet ist. Auf diese Weise können wir den durch die jeweilige Stellung des Blättchens angegebenen Ladungsgrad oder Elektricitätsgrad des Elektroskopes in — vorläufig willkürlichen — Einheiten der Elektricität angeben! Dann wird uns das Elektroskop das für die Elektricitätsmessung sein können, was — vor der Entdeckung der festen Temperaturpunkte (Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers) — das *Thermoskop* den Physikern, vor Fahrenheit und Réaumur, für die Wärmemessung war. Wie das mit einer Zoll- oder einer Millimeterskala versehene Thermoskop sehr wohl dazu dienen kann, Differenzen des Wärmezustandes (d. h. der Temperatur) mit einander zu vergleichen, so wird uns das geachte (kalibrierte) Elektroskop in den Stand setzen: Differenzen des Elektricitätsgrades oder des „elektrischen Zustandsgrades“ mit einander zu vergleichen. Mehr brauchen wir vorläufig nicht.

Da die Papierelektroskope zu unempfindlich sind, um kleine Elektricitätsgrade anzuzeigen, so wollen wir das Aluminium-elektrometer (Fig. 13) benutzen, das im Wesentlichen ähnlich gebaut ist, bei dem aber an Stelle der zwei Papier-

blättchen ein einziges Blättchen aus feiner Aluminiumfolie angebracht ist, wodurch die Empfindlichkeit des Apparates etwa auf das 50fache gesteigert ist. In der Schwingungsebene des Aluminiumblättchens ist eine auf Glimmer geritzte Gradskala angebracht. Das Gehäuse ist hier ein Blechkasten, dessen Wände aus Spiegelglas bestehen. Die Seitenwände sind mit Drahtnetz bedeckt.

Sie werden aus einiger Entfernung kaum mehr im Stande sein, das feine Aluminiumblättchen deutlich zu sehen, daher

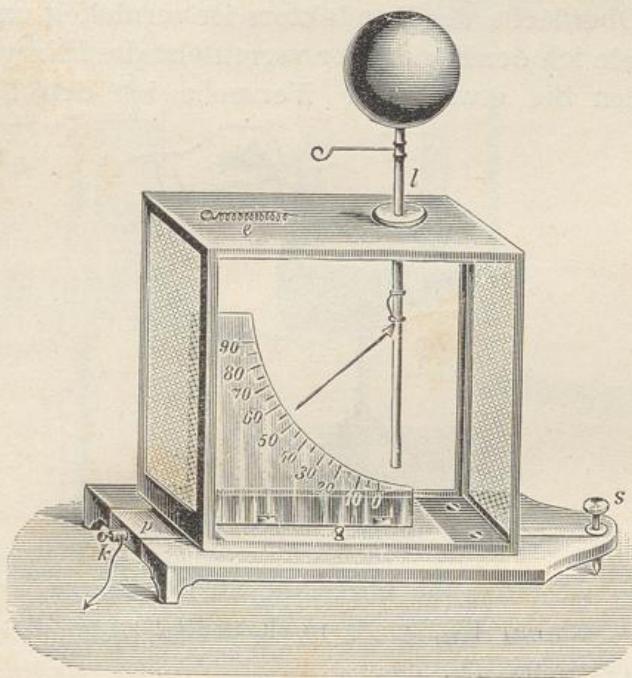


Fig. 13.

Aluminium-Elektrometer mit eingesetzter Gradskale. $\frac{1}{4}$ natürl. Grösse.

wollen wir das Zimmer verdunkeln und vermittelst einer Lampe, einer Beleuchtungs- und einer grossen Projektionslinse ein stark vergrössertes Bild vom Blättchen und der Skala auf einem grossen weissen Schirm entwerfen¹⁰⁾, sodass Sie bequem von Ihren Plätzen aus die Stellung des Blättchens ablesen können. (Fig. 15 zeigt Ihnen die Versuchsanordnung. Auf dem Schirme ist bereits die w. u. angegebene Aichungsskala entworfen.)

¹⁰⁾ Bei allen Versuchen mit dem Elektrometer ist im Folgenden die Anwendung der Projektion vorausgesetzt, auch wenn es im Text nicht weiter hervorgehoben wird.

Da die Projektionslampe das Zimmer genügend erhellt, um alle Gegenstände deutlich zu sehen, so können Sie auch leicht meinen bei den folgenden Versuchen nötigen Manipulationen folgen.

* * *

Als Elektricitätsquelle soll uns dieser durch einen Ebonitständer isolierte Konduktor (Fig. 14) dienen, der aus einem Blechcyylinder besteht, an den ein Blechkegel (*a c*) angelötet ist. Am anderen Ende ist ein Hohlkegel eingeschoben. Die ganze Oberfläche des Konduktors ist vernickelt und poliert.

Jetzt lade ich den Konduktor vermittelst des Flintglasstabes. Bitte horchen Sie etwas hin! Versuche ich den Konduktor

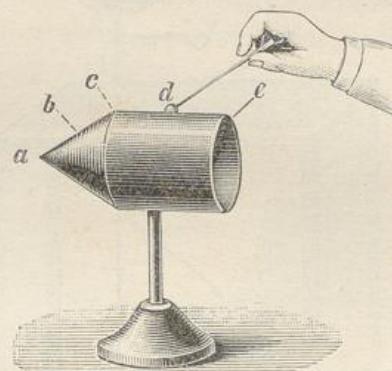


Fig. 14.

Kegel-Konduktor. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

noch stärker zu laden, so hören sie an der Spitze (*a*) ein leises Zischen. Offenbar fliesst die noch weiter zugeführte Elektricität aus der Spitze ab.

Nun berühre ich mit der an einem langen Ebonitstäbchen befestigten vernickelten und polierten Probekugel die Mitte des Cylindermantels (*d*, Fig. 14), die durch eine Linie bezeichnet ist und senke die Probekugel in die Hohlkugel des Elektrometers, bis sie die Innenwand berührt — Sie sehen, das Blättchen zeigt einen Ausschlag von $23,3^\circ$. Ich entlade das Elektrometer und wiederhole den Versuch, indem ich die Probekugel stets auf derselben Stelle des Konduktors aufsetze; wir erhalten Ausschläge von $23,5^\circ$, $23,4^\circ$, $23,2^\circ$, $23,3^\circ$, $23,4^\circ$; d. h. die Ausschläge des Elektrometers sind fast gleich, mithin dürfen wir voraussetzen, dass unser Konduktor — den wir dazwischen immer wieder laden, bis es zischt — eine recht be-

ständige Elektricitätsquelle abgiebt, die wir zum Aichen des Elektrometers benutzen können.

Bezeichnen wir auf dem weissen Schirme (S, Fig. 15) den Drehungspunkt des Blättchens und die Stellung des Blättchens bei 1, 2, 3 ... n Ladungen der Probekugel durch Striche, welche wir mit einer blauen Bleifeder ziehen, so entsteht vor unseren Augen die Aichungsskala. Schreiben wir zugleich

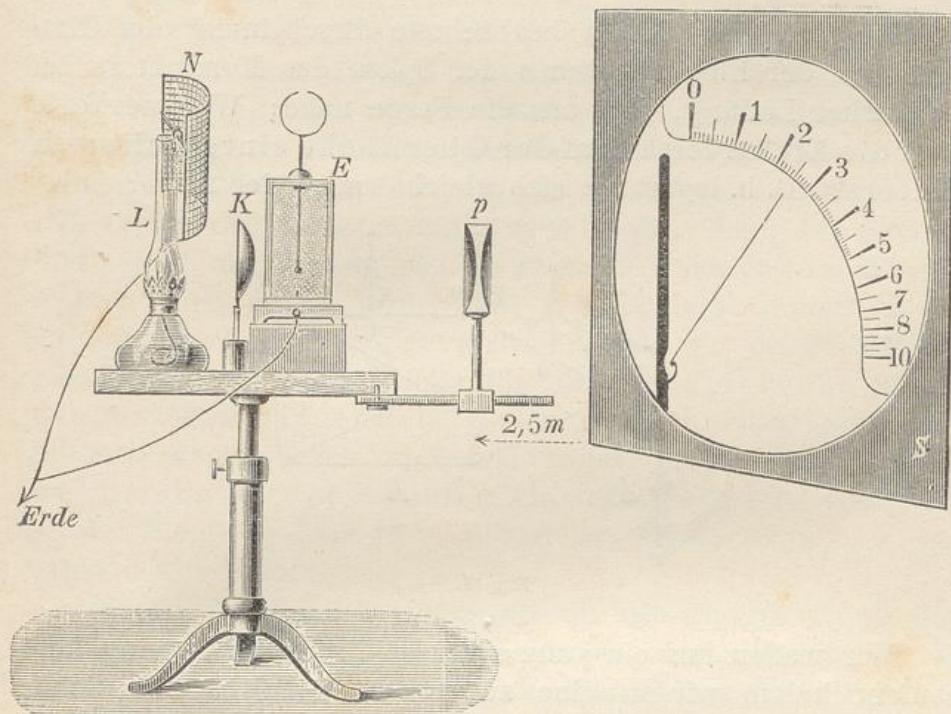


Fig. 15.
Projection der Elektrometerskala. $\frac{1}{10}$ des Apparats, $\frac{1}{20}$ der Skala.

den Stand des Blättchens nach der Gradskala an, so können wir später in aller Bequemlichkeit die Aichungsskala auf einer Glimmerscheibe¹¹⁾ entwerfen, und statt der bisherigen Gradskala in das Gehäuse des Elektrometers einsetzen. Natürlich müssen wir die zugehörigen Ziffern umgekehrt schreiben, damit sie bei der Projektion auf dem weissen Schirm aufrecht erscheinen.

¹¹⁾ Eine Glimmerscheibe hat vor einer Glasscheibe den grossen Vorzug voraus, dass sie nicht so leicht zerbricht, auch lässt sie sich leicht bearbeiten, z. B. mit einer Schere beschneiden.

Auf solche Weise ist diese einsetzbare Projektions-skala entstanden, die ich Ihnen hier vorlege. Dass derselben ein noch beständigere Elektricitätsquelle und eine genauere erst w. u. erläuterte Aichungsmethode zu Grunde gelegt worden, thut nichts zur Sache. Wir wollen diese genauere Skala fortan immer benutzen.

* * *

Die von uns (S. 26) beobachtete Erscheinung des Entweichens der Elektricität aus der Spitze des Konduktors bei zu starker Ladung, legt uns die Frage nahe: Wie verteilt sich die Elektricität auf der Oberfläche eines isolierten Leiters? D. h. lagert sie sich gleichförmig oder nicht?

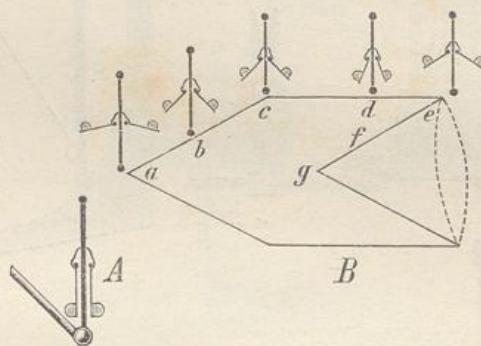


Fig. 16.

Wir wollen uns ein ganz einfaches Probierelektroskop herstellen, indem wir in eine zu diesem Zweck in die kleine Probekugel gebohrte Seitenöffnung einen starken Neusilberdraht stecken, der in seiner Mitte zwei Drahtbügel trägt, in welche 2 Papierstreifen leicht beweglich aufgehängt sind (A, Fig. 16). — Setze ich nun die mit dem kleinen Elektroskop versehene Probekugel auf den wieder geladenen Konduktor, so gehen die Blättchen auseinander.

Fahre ich nun mit dem Elektroskop entlang der äusseren Konduktoroberfläche hin und her, so sehen Sie, wie der Ausschlag der Blättchen sich ändert!*)

Wir erkennen leicht, dass der Ausschlag der Blättchen an der Spitze (a) am grössten ist, nächstdem an der kreisförmigen

*) Der Versuch gelingt sicherer, wenn man das Hülfelektroskop auf die bezeichneten Punkte des Konduktors setzt und dann etwas entfernt.

Kante (e), welche den Cylindermantel begrenzt; schon schwächer an der ebenfalls kreisförmigen, aber stumpferen Kante (c) und am kleinsten in der Mitte des Cylindermantels (d).

Denken wir uns den hohlen Kegelkonduktör (Fig. 14) in den Punkten a b c d e f senkrecht zur Längsachse a g zerschnitten, so erhalten wir als Querschnitt Kreise, die von der Spitze a bis zur Kante c stetig an Grösse zunehmen, von c bis e aber sich gleich bleiben. Je grösser ein Kreis ist, umso schwächer gekrümmmt ist die Kreislinie; also nimmt die Krümmung dieser Schnittkreise von a bis c ab und bleibt dann unverändert bis e. Dagegen ist die Krümmung der Konduktoroberfläche in der zur Schnittebene senkrechten Richtung (also in der Ebene des Papiere bei Fig. 16) an den Punkten c d e verschieden, denn die Kante c bildet jetzt einen stumpfen, die Kante e einen spitzen Winkel, während bei d ein gestreckter Winkel (eine gerade Linie) auftritt. Mit Berücksichtigung dessen, dass wir bei Beurteilung der Krümmung einer Fläche die in verschiedenen Richtungen stattfindenden Krümmungen zusammenfassen müssen, kommen wir zu dem Resultat, dass die Gesamtkrümmung an der Spitze a am stärksten ist, nächstdem an der Kante e, dann in c, b und am schwächsten in d (der Mitte des Cylinders).

Es macht den Eindruck, als ob die Elektricität an den stärker gekrümmten Oberflächenteilen des Konduktors in grösserer Menge angehäuft, gewissermaassen verdichtet sei; bezeichnen wir diesen Zustand der Elektricität als „elektrische Dichte“ (vgl. S. 23), so können wir sagen:

Die elektrische Dichte ist auf ungleichstark gekrümmten Oberflächenteilen eines geladenen isolierten Leiters ungleich, und zwar umso grösser, je stärker die Krümmung ist*).

Das tritt nicht so unmittelbar, aber noch schärfer hervor, wenn wir vermittelst der Probekugel, von welcher natürlich

*) Genauer definiert ist elektrische Dichte der Quotient der Elektricitätsmenge an einer bestimmten Stelle des Leiters durch die Grösse des Flächenstücks, oder die Elektricitätsmenge für die Einheit der Fläche. Doch wird diese Definition erst nach Einführung einer Maasseinheit für die Elektricitätsmenge verständlich.

das Hülfselektroskop entfernt worden, von den in Fig. 16 mit a, b, c, d, e, f, g bezeichneten Punkten je eine Ladung auf das Elektrometer übertragen (s. o. S. 26). Wir erhalten

In den Oberflächenpunkten	a	b	c	d	e	f	g	
a) bei stärkster Ladung des Konduktors	in elektr. Einh. Verhältnis	6,0	1,1	1,4	0,8	3,2	0,5	0
		7,5	1,4	1,75	1	4,0	0,65	0
b) bei schwacher Ladung des Konduktors	in elektr. Einh. Verhältnis	2,3	0,45	0,52	0,3	1,2	0,2	0
		7,6	1,5	1,73	1	4,0	0,66	0

Wir sehen hieraus, dass auf der äusseren Oberfläche, wie vorhin, die elektrische Dichte an der Spitze (a) am grössten ist, nächstdem an der kreisförmigen Kante e — u. s. w. und am geringsten auf der Mitte des Cylindermantels (d). Auf

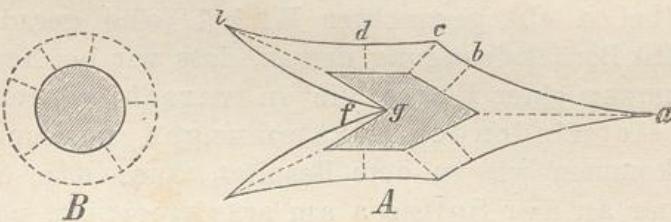


Fig. 17.
Graphische Darstellung der elektrischen Dichte.

der inneren Fläche des Hohlkegels nimmt die elektrische Dichte vom Rande an sehr rasch ab und ist im tiefsten Punkte (g) = 0. — Die zweite Versuchsreihe bei schwächerer Ladung zeigt, dass das Verhältnis der elektrischen Dichten an den betreffenden Punkten dasselbe bleibt also nicht von der Ladungsstärke abhängt.

Die von uns gefundenen Zahlenwerthe für die elektrische Dichte setzen uns in den Stand, ein anschauliches Bild von der Änderung der elektrischen Dichte auf dem Konduktor und — zum Vergleich auf einer isolierten Hohlkugel — zu machen. Wir tragen auf der Durchschnittszeichnung des Konduktors (A, Fig. 17) und der Kugel (B) an den betreffenden Punkten (a, b ... g) in der Richtung der elektrischen Abstossung Linien an, welche den gemessenen Dichtigkeiten der Elektricität an diesen Punkten proportional sind. Verbinden wir nun die Endpunkte dieser Linien, so erhalten wir beim

Konduktor die auffallend gekrümmte Linie (Kurve) a b c d e f g, Fig. 17, A. Denken wir uns diese Linie um die Achse des Konduktors (a g) gedreht, so beschreibt sie eine Drehungsfläche (Rotationsfläche), welche die Niveaufläche der elektrischen Dichte genannt wird.

Bei der Kugel (B, Fig. 17) ist die elektrische Dichte überall gleich und die Niveaufläche der elektrischen Dichte ist wiederum eine Kugelfläche.

* * *

Jetzt verbinde ich den Ableitungsdrat eines Papier-elektroskops, auf welches ich eine kleine Kugel geschraubt habe¹²⁾), durch einen sehr feinen, mit Seide umspinnenen Kupferdraht mit der isolierten Probekugel. Lade ich nun den

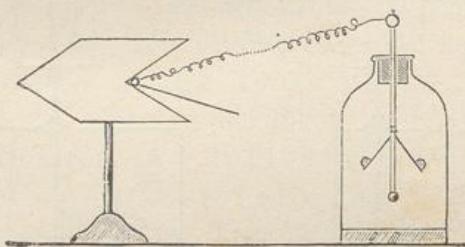


Fig. 18.

Konduktor und berühre ihn irgendwo mit der Probekugel, so zeigt das Elektroskop einen gewissen Ausschlag, der sich nicht ändert, wenn ich die Probekugel der Oberfläche des Konduktors entlang führe, auch wenn ich die Spitze des Konduktors oder den tiefsten Punkt des Hohlkegels berühre (Fig. 18). Ebenso können wir das Elektroskop mit dem elektrisierten Drahtnetz (Fig. 10, S. 20) verbinden und dieses biegen — immer bleibt der Ausschlag des Elektroskopes unverändert, ob der Draht die hohle oder die erhabene Netzseite berührt.

¹²⁾ Es sei hier ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei allen diesen elektrischen Apparaten und Nebenapparaten sämtliche Schrauben dasselbe Gewinde haben, sodass alle Kugeln, Platten u. s. w. nach Bedarf vertauscht werden können. Dadurch wird das Experimentieren sehr erleichtert und die Anzahl der nötigen Hülfsapparate bedeutend vermindert.

Der elektrische Zustandsgrad.

Wir sehen zu unserer Überraschung, dass die Wirkung, welche ein elektrisierter Leiter auf ein entfernt aufgestelltes und durch einen feinen Draht mit ihm verbundenes Elektroskop ausübt, unverändert bleibt, wenn der Verbindungsdrat an irgend einem Punkte der äusseren Oberfläche oder der Innenwand des Hohlraumes angelegt wird. Diesen eigentümlichen Zustand des elektrischen Leiters, den wir am leitend verbundenen Elektroskop wahrnehmen, nennen wir den elektroskopischen Zustand des Körpers. Die verschiedenen Grade des elektroskopischen Zustandes mögen „elektrische

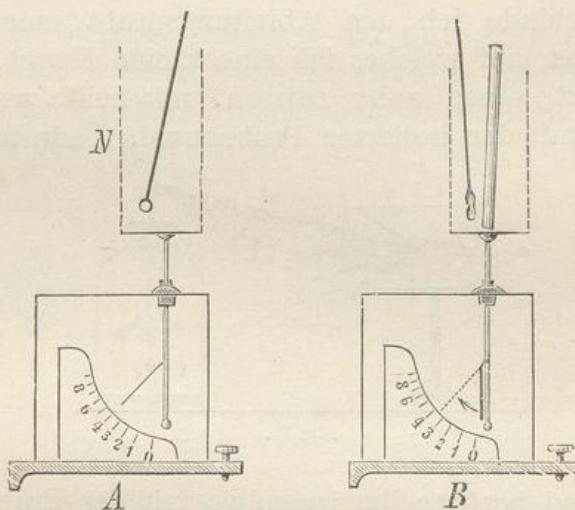


Fig. 19.
Faraday's Versuch. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

Zustandsgrade“ (oder wie früher beim Elektroskop „Elektricitätsgrade“) heissen. Dann können wir kürzer sagen:

Der elektrische Zustandsgrad eines Leiters hat auf seiner ganzen Oberfläche — sowohl der äusseren, als der inneren — *denselben Wert!* Dadurch unterscheidet sich der elektrische Zustandsgrad wesentlich von der elektrischen Dichte, die — wie wir sahen — auf verschiedenen Teilen desselben Leiters sehr verschiedene Werte haben kann.

Mit dem elektrischen Zustandsgrade der Körper werden wir uns späterhin eingehend zu beschäftigen haben, jetzt wollen wir nur noch die Wirkung eines elektrischen Körpers auf einen ihn (fast) umschliessenden unelektrischen Leiter untersuchen.

Ich schraube auf das Elektrometer eine ebene kleine Platte und stelle auf diese einen oben offenen Drahtnetz-Cylinder (N, Fig. 19). Tauche ich nun die elektrisierte grössere Probekugel (p), die an einem langen Ebonitstäbchen befestigt ist, in den Hohlraum des Drahtcylinders, ohne das Netz zu berühren, so zeigt das Elektrometer einen Ausschlag, der sich nicht ändert, wenn ich die Kugel im Hohlraum des Cylinders hin- und herbewege, oder wenn ich damit die Innenwand des Netzes berühre; d. h. die elektroskopische Wirkung, die ein elektrisierter Körper auf einen umgebenden Leiter ausübt, ist im ganzen Hohlraume konstant und eben so gross, wie bei Berührung der Innenwand (Faraday)! Hieron wollen wir eine Anwendung machen.

An dem Ende eines Ebonitstabes ist ein Stück amalgamiertes Leder befestigt. Ich tauche dasselbe sowie den unelektrischen Flintglasstab in das Drahtnetz (B, Fig. 19). Reibe ich nun — ohne das Netz zu berühren — beide an einander, so zeigt das Elektrometer keinen Ausschlag so lange Reiber und Reibzeug innerhalb des Netzes sind, weil beide Elektricitäten sich in ihrer Wirkung nach aussen aufheben. Je nachdem ich nun den Glassstab oder das Reibzeug heraushebe, zeigt das Elektrometer — E oder + E, aber der Ausschlag ist in beiden Fällen genau gleich gross, d. h. *beim Reiben werden — E und + E in gleichen Mengen erzeugt!*

* * *

Nach dieser Abschweifung, welche uns einige wichtige elektrische Gesetze kennen lehrte, wollen wir unsere Untersuchung über die elektrische Dichte zu Ende führen, indem wir noch die Frage erledigen: Nach welchem Gesetz wächst die elektrische Dichte mit der Krümmung der Oberflächenteile eines Leiters?

Hier sehen Sie 3 Ebonitstände, auf welcher 3 Hohlkugeln von 20, 10 und 2 cm Durchmesser befestigt sind und deren Halbmesser sich also verhalten, wie $r_a : r_b : r_c = 10 : 5 : 1$. Durch zwei Drähte d_1 und d_2 (von je 1 m Länge) verbinde ich die 3 Kugeln (A, B, C, Fig: 20), sodass sie als ein einziger isolierter

Kolbe.

3

Leiter aufzufassen sind. Mithin muss, wenn eine Kugel vermittelst des Flintglasstabes geladen wird, bei allen 3 Kugeln der elektrische Zustandsgrad gleich sein. — Entnehme ich nun vermittelst einer kleinen Probekugel jeder Kugel einzeln eine Ladung und übertrage sie auf das Elektrometer, so erhalten wir Zahlenwerte, deren Verhältnis zu einander von

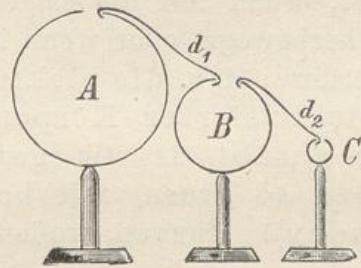


Fig. 20.

Isolierte Hohlkugeln zur Messung der elektrischen Dichte. $\frac{1}{12}$ natürl. Grösse.
(In Wirklichkeit sind die Drähte d_1 u. d_2 je 1 m lang.)

der beim Aichen (s. o. S. 27) gewählten Elektricitäts-Einheit ganz unabhängig sein muss und das gesuchte Verhältnis der elektrischen Dichten widerspiegeln wird. Wir finden

	A	B	C
Krümmungshalbmesser	$r = 10$ cm	5 cm	1 cm
beob. elektr. Dichte	$D = 0,6$	1,2	6,1

Also verhalten sich die

el. Dichten $D_a : D_b : D_c = 1 : 2 : 10$ (nahezu).

Bei A und C ist das Verhältnis der Krümmungshalbmesser $r_a : r_c = 10 : 1$, das der elektrischen Dichten $D_a : D_c = 1 : 10$, also umgekehrt! Ebenso ist, bei B und C, $r_a : r_c = 5 : 1$, dagegen $D_b : D_c = 10 : 2 = 5 : 1$. Hieraus folgt: Bei gleichem elektrischen Zustandsgrade zweier Kugeln stehen die elektrischen Dichten im umgekehrten Verhältnis zum Krümmungshalbmesser.

Nun verhält sich

$$D_a : D_b : D_c = \frac{1}{r_a} : \frac{1}{r_b} : \frac{1}{r_c}.$$

Diese Brüche $\frac{1}{r_a}$, $\frac{1}{r_b}$, $\frac{1}{r_c}$ sind die reciproken Werte der betr. Krümmungshalbmesser, und geben ein Maass ab für die Krümmung, daher dürfen wir sagen:

Die elektrische Dichte steht — bei gleichem elektroskopischem Zustandsgrade — im geraden Verhältnis zur Krümmung, oder: Bei einem elektrisierten Leiter verteilt sich die Elektricität so über die äussere Oberfläche, dass die elektrischen Dichten sich verhalten, wie die Krümmungen der entsprechenden Oberflächenteile.

Hieraus ergiebt sich, dass, wenn bei einem Teile eines geladenen Leiters der Krümmungshalbmesser sehr klein (also die Krümmung sehr gross) wird, wie z. B. an der Spitze unseres Kegelkonduktors (Fig. 14), sich die Elektricität in einer solchen Dichte anhäufen muss, dass die anliegenden Staub- und Wasserteilchen der Luft¹³⁾ — wie unsere Probekugel — hier besonders stark geladen und abgestossen werden. Bei einer gewissen Stärke der Ladung wird die abstossende Kraft im Stande sein, den Luftwiderstand zu überwinden und die Staub- und Wasserdampfteilchen abzuschleudern. Diese reissen die benachbarten Luftteilchen mit sich fort — andere rücken an ihre Stelle und so entsteht der sogenannte „elektrische Wind“, die zischende Luftströmung, welche Sie an der Spitze des Konduktors bemerkten.

Wir werden später (bei der Elektrisiermaschine) interessante Erscheinungen der Spitzenwirkung kennen lernen; hier möchte ich mich darauf beschränken, Ihnen den Einfluss zu zeigen, welche die Spitzenwirkung auf das Laden und Entladen der Körper hat.

Ich stelle ein Papierelektroskop vor Sie hin und fahre mit dem geladenen Flintglasstabe in etwa 20 cm Entfernung über der Kugel hin und her. — Die Blättchen schwingen auf und ab, aber — nach Entfernung des Stabes — bleibt das Elektroskop ungeladen. Jetzt stelle ich in die Seitenöffnung der Elektroskopkugel einen starken, rechtwinklig gebogenen Draht, der in eine sehr feine Spitz ausläuft. Diese Spitz drehe ich nach oben und fahre nur einmal rasch in etwa 40 cm Höhe mit dem geladenen Glasstabe darüber hin (A, Fig. 22),

Erklärung
der Spitzen-
wirkung.

Ladung
durch
Spitzen-
wirkung.

¹³⁾ Nach neueren Untersuchungen scheint vollkommen staub- und wasserdampffreie Luft die elektrische Entladung so sehr zu erschweren, dass die Moleküle der Luft allein die hier den Staub- und Wasserteilen zugeschriebene Rolle nicht übernehmen können.

so ist das Elektroskop im Augenblick geladen, d. h. die Spitze saugt gewissermaassen die Elektricität auf.

Stelle ich das zweite Papierelektroskop nahe zu dem geladenen heran, und drehe (mit einem Ebonitstäbchen) die Spitze so, dass sie auf die Kugel des benachbarten Elektroskopes II (Fig. 22, B) gerichtet ist, so können wir nach kurzer Zeit wahrnehmen, dass das erste Elektroskop allmälig seine Ladung verliert, während das zweite etwas geladen wird. Durch Anlegen des elektrischen Glasstabes an den Kopf des I. Elektroskopes kann die Ladung des II. beschleunigt werden — wir sehen also, dass durch eine Spitz

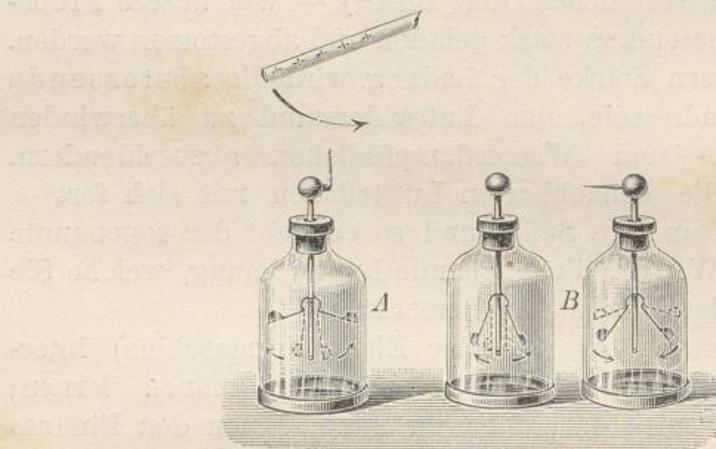


Fig. 21.
Versuch über Spitzenwirkung. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse

die Elektricität abfliesst, daher müssen bei allen elektrischen Apparaten, welche die Elektricität möglichst lange halten sollen, sorgfältig alle Spitzen und scharfen Kanten vermieden werden.

Spitzen-
wirkung der
Flammen

Bringe ich eine Flamme — z. B. die einer Wachskerze — in die Nähe eines geladenen Elektroskopes, so verliert dieses seine Ladung sehr rasch. Verbinde ich ein Elektroskop durch einen Draht mit einer Flamme, indem ich das an einem Ebonitstäbchen befestigte und etwas vorragende Ende desselben in die Flamme halte, so verschwindet eine vorhandene Ladung sofort und das Elektroskop lässt sich überhaupt nicht laden, da alle Elektricität durch die Flamme ausströmt. Die glühenden Kohlenteilchen der Flamme wirken hier wie sehr

viele feine Spitzen, daher ist die aufsaugende und zerstreuende Wirkung einer Flamme ausserordentlich gross. Nun werden Sie begreifen, warum wir die geladenen Isolatoren, wie Ebonit, Glas u. s. w., völlig entladen können, wenn wir sie über einer Flamme hin- und herbewegen, oder durch dieselbe ziehen.

Damit schliessen wir unsere zweite Wanderung und wollen das nächste Mal die Frage zu beantworten suchen: Welchen Einfluss übt ein elektrisierter Körper auf seine Umgebung aus?