



Einführung in die Elektrizitätslehre

Kolbe, Bruno

Berlin, 1893

IV. Vortrag: Wirkungsweise des Plattenkondensators; Theorie des Kondensators; Grenze der Ladungsfähigkeit eines Kondensators. - Aichung des Elektrometers mit Hülfe des Kondensators; Verstärkungszahl ...

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

IV. Vortrag.

Wirkung des Plattenkondensators; Theorie des Kondensators; Verstärkungszahl des Plattenkondensators; Aichung des Elektrometers mit Hülfe des Kondensators; Der Kondensator als Ansammlungsapparat; Die elektrische Flasche; Das Elektrophor; Kapazitätsbestimmung einer elektrischen Flasche; Abhängigkeit der Kapazität eines Kondensators vom Plattenabstand; Dielektrische Konstante.

Wir haben auf unseren bisherigen drei Wanderungen die Grunderscheinungen beim Elektrisieren der Körper durch Reiben und durch Influenz kennen lernen. Heute können wir einige wichtige Anwendungen von den gefundenen Gesetzen machen; zuvor aber wollen wir die Resultate unserer letzten Versuche zusammenfassen:

1. Die elektrische Abstossungs- oder Anziehungskraft, welche zwei elektrische Körper auf einander ausüben, steht im geraden Verhältnis zu den Elektrizitätsmengen der Körper und im umgekehrten Verhältnis zu dem Quadrat ihres Abstandes (Coulomb'sches Gesetz $a = \pm e \cdot e' / r^2$). Rückblick.
2. Durch Elektrisierung eines Körpers wird in allen benachbarten Leitern das elektrische Gleichgewicht gestört — die ungleichnamige Elektrizität wird herangezogen und gebunden, die gleichnamige Elektrizität abgestossen. Ist der Leiter isoliert, und wird — während der influierende Körper in der Nähe ist — auf einen Augenblick ableitend berührt, so fliesst die freie, gleichnamige Elektrizität ab und der Leiter bleibt, nach Entfernung des influierenden Körpers, mit ungleichnamiger Elektrizität geladen zurück. — Die durch Influenz in einem Leiter erzeugten Mengen $+E$ und $-E$ sind einander gleich. Das gewährt die Möglichkeit, zarte Elektroskope beliebig stark zu laden.

3. Die Influenzwirkung geschieht durch Isolatoren hindurch, wird aber durch leitende Schirme gehemmt und ist ganz aufgehoben, wenn der influierende oder der influierte Körper vollständig von einem nicht isolierten Leiter umgeben ist. — Die Menge der Influenzelektricität steht im geraden Verhältnis zur Ladung des influierenden Körpers und im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat der Entfernung. Hieraus ergibt sich, dass die Ladung eines Körpers nur scheinbar durch Mitteilung (Berührung) erfolgt, in Wirklichkeit aber durch Influenz geschieht.

Wir wollen jetzt die Influenzwirkung untersuchen, welche zwei ebene Metallplatten auf einander ausüben, wenn sie sich sehr nahe gegenüberstehen, aber durch eine isolierende Schicht von einander getrennt sind.

Auf ein Papierelektroskop (E, Fig. 34) schraube ich statt der Kugel eine gut eben geschliffene Metallplatte (p_1). Auf diese lege ich eine sehr dünne Glimmerplatte (g), welche die Metallplatte allseitig um 2—3 cm überragt. Auf diese kommt eine zweite, der vorigen gleiche Metallplatte (p_2), die mit einem Ebonithandgriff (h) versehen ist. Auf diese obere Platte stelle ich das schon früher von uns benutzte kleine Hülfelektroskop (e), welches auf eine metallene Fussplatte geschraubt ist.

Lade ich nun die untere Platte (p_1) durch Berührung mit einer isolierten Probekugel, welche ich am elektrisierten Konduktor (vergl. Fig. 14, S. 26) geladen habe, so zeigt das Elektroskop einen kleinen Ausschlag. Sollte wohl die Probekugel ihre ganze Ladung abgegeben haben? Da steht ja unser Elektrometer auf dem kleinen Projektionstischchen bereit (vergl. Fig. 15). Ich schraube eine Hohlkugel auf und senke die kleine Probekugel in das Innere derselben — Sie sehen, es erfolgt ein Ausschlag, d. h. die Probekugel hat, nach Berührung mit der Metallplatte einen Teil ihrer Ladung behalten!

Ich wiederhole den Versuch, berühre aber zugleich die obere Platte mit dem Finger — es tritt scheinbar gar keine Wirkung ein, jedoch zeigt die Probekugel jetzt am Elektrometer keine Spur von einer Ladung mehr. Wo ist die Elektrizität der Probekugel geblieben? — Ich wiederhole den

Versuch 5—6 mal — der Erfolg ist immer derselbe. Die Probekugel giebt doch, da sie nach der Berührung mit der unteren Platte p_1 unelektrisch wird, dieser die ganze Ladung ab, die auf die gleichzeitig abgeleitete obere Platte nicht übergehen kann, da eine isolierende Platte dazwischen ist, dennoch zeigt das Elektroskop kaum eine Spur von Ladung. — Hebe ich aber jetzt die obere Platte (p_2) am isolierenden Handgriff auf — — so sehen Sie, dass beide Platten stark elektrisch sind (II, Fig. 34). Eine Probe zeigt, dass die untere Platte mit der berührenden Kugel gleichnamig, die obere dagegen ungleichnamig elektrisch ist.

Hier liegt natürlich eine Influenzwirkung vor! Die elektrisierte untere Platte spielt die Rolle des influierenden

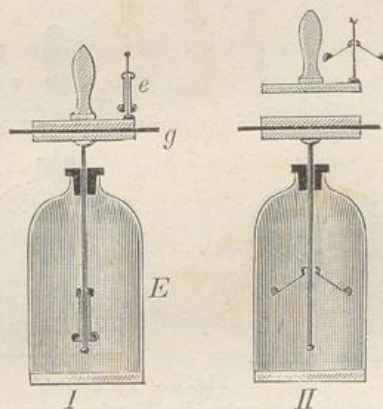


Fig. 34.
Platten-Kondensator. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

Körpers, die obere Platte die des isolierten Leiters. Während die Platten — durch die Glimmerscheibe isoliert — auf einander liegen, befindet sich die Elektrizität auf beiden in dem Zustande, welchen wir das letzte Mal als „gebunden“ bezeichneten. Wir können vorläufig nur annehmen, dass die gegenseitige Anziehung der beiden in grosser Nähe befindlichen, entgegengesetzten Elektricitäten so stark ist, dass beide Elektricitäten nicht nur ihre freie Beweglichkeit verlieren, sondern sich auch möglichst zu nähern suchen. Hieraus folgt, dass sie sich fast ausschliesslich auf den einander zugekehrten Flächen beider Platten anhäufen müssen; daher werden die übrigen Teile der Platten, sowie die Leitungsstäbe mit den Blättchen keine freie Elektricität mehr

enthalten. Hieraus erklärt sich der scheinbar unelektrische Zustand der beiden Elektroskope (E und e, Fig. 34, I) vor dem Abheben der oberen Platte.

Nun drängt sich uns die Frage auf: Ist die durch die beiden sehr nahestehenden Platten bewirkte Bindung der Elektricitäten eine vollständige oder nicht? Nehmen wir zunächst den ersten Fall an. Denken Sie sich also, dass die durch Influenz erzeugte $-E$ der oberen Platte die ganze $+E$ der unteren Platte binden könne. Was wäre die Folge? Offenbar darf dann $-$ während die obere Platte abgeleitet ist $-$ die untere Platte, auch bei stärkeren Ladungen, keine freie Elektricität zeigen! Ferner darf, durch eine abwechselnde Berührung beider Platten mit der Hand,

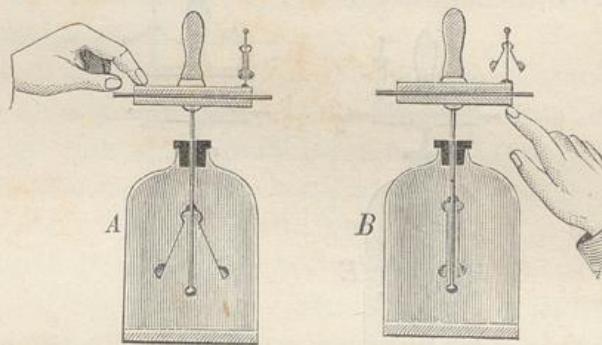


Fig. 35.

Wirkungsweise des Kondensators.

kein Elektrizitätsverlust auftreten, also die Ladung nicht abnehmen. Das können wir durch den Versuch prüfen.

Ich lade die untere Platte stärker wie bisher, während ich die obere ableitend berühre, Sie sehen, wie nach einer gewissen, grösseren Anzahl von Ladungen, die Blättchen der unteren Platte langsam auseinandergehen, also eine stetig zunehmende Ladung freier Elektricität zeigen, während die der oberen Platte in der Ruhelage verharren (A, Fig. 35). — Berühre ich jetzt die untere Platte, so fallen hier die Blättchen zusammen, während die der oberen sich heben (B, Fig. 35). — Beim Aufheben der oberen Platte zeigen beide Elektroskope einen sehr starken Ausschlag. Setze ich aber die abwechselnde Berührung beider Platten fort, so nimmt der Ausschlag bei der eben nicht berührten Platte ab, und nach dem

Abheben der oberen Platte zeigen die beiden Elektroskope eine bedeutend schwächere Ladung!

Wir sehen hieraus, dass unsere erste Annahme: die Elektrizität beider Platten könne sich vollständig binden, nicht berechtigt war. Immerhin zeigen beide Platten nach der Trennung eine viel grössere Menge freier Elektrizität, als vorher. Die Elektrizitäten befanden sich, so lange die Platten nur durch die dünne Glimmerscheibe getrennt waren, in einem verdichteten, gewissermaassen kondensierten Zustande auf den beiden inneren, d. h. einander zugekehrten Plattenflächen angehäuft. — Daher nennt man ein solches, durch eine isolierende Schicht getrenntes, Plattenpaar auch Plattenkondensator oder kurzweg *Kondensator*.

Um uns eine Vorstellung von der Wirkungsweise eines Kondensators zu bilden, können wir uns denken, dass bei Berührung mit einer konstanten Elektrizitätsquelle jede der Platten für sich 1000 Einheiten freier Elektrizität aufnehmen vermöchte. Nehmen wir nun an, dass die bindende Kraft jeder Platte im Stande sei $\frac{99}{100} = 0,99$ ihrer Ladung auf der anderen Platte durch die dünne, isolierende Glimmerplatte hindurch zu binden. Führen wir nun der unteren Platte 1000 elektrische Einheiten zu, während wir die obere Platte ableitend berühren, so werden auf dieser $\frac{99}{100} = 0,99$ von der Ladung der direkt elektrisierten unteren Platte gebunden. Diese $\frac{99}{100}$ der Ladung binden wiederum $\frac{99}{100}$ ihres Betrages, d. h. $0,99 \times 0,99 = 0,9801$ von der ganzen Ladung der unteren Platte. Wiederholen wir die Ladung der unteren Platte, bei gleichzeitiger Ableitung der oberen, so lange, bis die freie Elektrizität auf der unteren Platte ihr Maximum erreicht, also = 1000 Einheiten wird.

Bezeichnen wir jetzt die Gesamtladung der unteren Platte, d. h. die Summe der gebundenen und der freien Elektrizität, mit x , so haben wir nach Obigem auf der oberen Platte eine Ladung = $0,99 x$; diese bindet wiederum auf der unteren Platte $\frac{99}{100}$ ihres Betrages, also $0,99 \times 0,99 x = 0,9801 x$. Wir haben also auf der unteren Platte:

$$\begin{aligned} \text{eine Gesamtladung} &= x \\ \text{davon gebunden} & (0,99)^2 \cdot x = 0,9801 x \\ \text{mithin an freier Elektrizität} & x - 0,9801 x = 0,0198 x. \end{aligned}$$

Lenz'sche
Theorie des
Konden-
sators.

Nun war, unserer Annahme gemäss, die Menge der freien Elektrizität auf der unteren Platte = 1000; also ist $0,0198 x = 1000$, mithin $x = 1000/0,0198 = 50505$.

Die untere Platte enthält mithin jetzt 50505 elektrische Einheiten, oder $50505/1000 = 50,505$ mal mehr Elektrizität als sie für sich allein aufzunehmen vermag. Heben wir die obere Platte ab, so wird die ganze Ladung auf der unteren Platte frei und hat eine 50,505 mal grössere Dichte, als vorhin. Diese Zahl 50,505 können wir die Verdichtungskonstante oder die Verstärkungszahl des Kondensators nennen.

Verstär-
kungszahl
des Kondensators.

Die Kondensatorplatten können also dazu dienen, sehr schwache elektrische Ladungen, welche selbst an dem so empfindlichen Aluminium-Elektroskop nicht mehr nachweisbar sind, anzusammeln, und so deren Wirkung derart zu verstärken, dass wir sie am Elektrometer wahrnehmen können! Wir werden später, beim Galvanismus, eine sehr wichtige Anwendung dieser von Volta (1783) erfundenen Kondensatoren machen. Die Kondensatorplatten sind also im wahren Sinne des Wortes elektrische Ansammlungsapparate! Da hier die Menge der freien Elektrizität verhältnismässig gering ist, so ist auch der Elektrizitätsverlust beim geschlossenen Kondensator, d. h. wenn die Platten nur durch die isolierende Schicht getrennt sind, sehr unbedeutend, daher kommt es, dass man auf diese Weise eine elektrische Ladung tagelang zu halten vermag.

Wir haben (S. 15) gesehen: „Bei gleichem elektrischen Zustandsgrade zweier Körper geht keine Elektrizität von dem einen Körper auf den anderen über.“ Hieraus ergibt sich das für elektrische Messungen wichtige Resultat: Ein Kondensator kann nur soweit geladen werden, bis die nicht gebundene Elektrizität auf der unmittelbar elektrisierten Platte denselben Elektrizitätsgrad angenommen hat, den die benutzte Elektrizitätsquelle aufweist.

Da wir später oft mit den Kondensatoren zu thun haben werden, so ist es uns von Interesse zu erfahren, wie gross die Verstärkungszahl dieses einen, besonders sorgfältig gearbeiteten Kondensators ist, den wir oft zu Messungen benutzen

werden und daher unseren Normalkondensator¹⁹⁾ nennen wollen. Er ist durchweg vernickelt und an den inneren Flächen und am Rande mit einem sehr dünnen und gleichmässigen Überzuge von Schellackfirnis versehen. Da die Platten ausserdem sehr eben sind, so wird die Verstärkungszahl dieses Normalkondensators sehr bedeutend sein.

Ich schraube eine Platte auf das Elektrometer, dessen Gehäuse — wie bei allen messenden Versuchen — mit der Erdleitung verbunden ist. Nun gebe ich dem Elektrometer durch Influenz eine Ladung $L = 4$ Aichungseinheiten. Setze ich nun die obere, durch einen Ebonitgriff isolierte, und mit

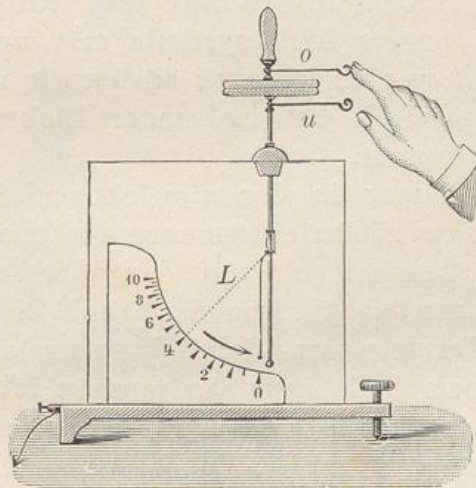


Fig. 36.
Elektrometer mit Aichungsskala. $\frac{1}{5}$ natürl. Grösse.

einem vernickelten Ableitungsdraht (o) versehene Platte auf und berühre sie ableitend, so fällt das Blättchen des Elektrometers völlig zusammen (Fig. 36) — ein Zeichen dafür, dass die Menge der freien Elektrizität auf der unteren Platte ausserordentlich gering ist. Dementsprechend ist, wenn ich jetzt auch die untere Platte ableite, indem ich den Draht u berühre, und dann die obere Platte abhebe, die jetzige Ladung $L_1 = 3,97$ oder $3,98$, weicht also von der ursprünglichen Ladung (L) nur um $0,03$ bis $0,02$ Einheiten ab; also hat vorhin

¹⁹⁾ Dieser besonders gut wirkende Kondensator ist von dem Universitätsmechaniker P. Schultze in Dorpat hergestellt worden.

die freie Elektrizität nur 2—3 Hundertstel-Aichungseinheiten betragen! Da die ursprüngliche Ladung $L = 4,0$ war, so ergibt sich hieraus für unseren Normalkondensator eine Verstärkungszahl $D = 4/0,03$ bis $4/0,02 = 133$ bis 200 . Nach einer genaueren Methode (Anh. 8) ergab sich $D = 204$, d. h. wenn wir den geschlossenen Kondensator so laden, dass die freie Elektrizität der unteren, mit dem Elektrometer verbundenen Platte gleich der Elektrizitätsmenge e ist, so ist bei geöffnetem Kondensator die Menge der freien Elektrizität $= 204 e$, d. h. 204 mal so gross. Sie ersehen hieraus, dass durch Anwendung dieses Kondensators die Empfindlichkeit des Elektrometers auf das 200fache erhöht wird. Da nun unsere Aichungsskala mit und ohne Kondensator benutzt werden kann, so dürfen wir nicht vergessen, dass in letzterem Falle 200 mal mehr Elektrizität auf die Skaleneinheit kommt.

Der Kondensator als konstante Elektrizitätsquelle.

Die durch Influenz in der abgeleiteten oberen Kondensatorplatte erzeugte Elektrizitätsmenge steht, wie wir sehen, in einem ganz bestimmten, von der Verstärkungszahl der betreffenden Platten abhängigen Verhältnis zur Ladung der festen Platte. Da wir nun durch Influenz ein Elektroskop genau bis zu einem beliebigen Skalenpunkt laden können, so liefert uns die abgeleitete und dann abgehobene obere Kondensatorplatte stets dieselbe bestimmte Elektrizitätsmenge, solange die untere Platte ihre ursprüngliche Ladung beibehält, wovon wir uns leicht dadurch überzeugen können, dass wir den Ausschlag der Blättchen von Zeit zu Zeit beobachten.

Ein Kondensator kann uns mithin auch als sehr beständige Elektrizitätsquelle dienen, um — mittelst eines anderen Kondensators — das Elektrometer zu aichen! Diese Methode gewährt noch den grossen Vorteil, dass die Messung nicht durch Elektrizitätsverluste gestört wird, da bei geschlossenem Kondensator die freie Elektrizität, also auch der Elektrizitätsverlust ganz unmerklich ist.

Aichung des Elektrometers (II. Methode).

In die Nähe des Elektrometers stelle ich ein mit einem Kondensator versehenes Aluminiumelektroskop (A, Fig. 37) von erprobter, vorzüglicher Isolierfähigkeit. Ich lade es durch Influenz mit $+E$, setze die obere Platte (o) auf, berühre sie

ableitend und übertrage ihre Ladung auf den Kondensator des Elektrometers in der Weise, wie B, Fig. 37 zeigt. Das Elektrometer zeigt nun, nach dem Abheben der oberen Platte, einen gewissen Ausschlag a_1 , der in einem bestimmten Verhältnis zur Ladung des Elektroskopes A steht, also durch diese genau reguliert werden kann. Führe ich auf dieselbe Weise 2, 3, 4 u. s. w. Ladungen dem Elektrometer zu, so erhalte ich die betreffenden Ausschläge des Elektrometers, die 2, 3, 4 . . . der gewählten elektrischen Einheiten entsprechen. Auf diese Weise ist unsere Projektions-Aichungsskala entstanden, wobei

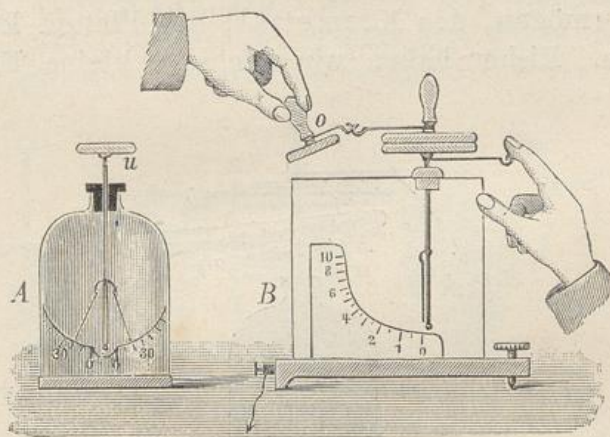


Fig. 37.

Aichung des Elektrometers. $\frac{1}{7}$ natürl. Grösse.

nur als Einheit ein erst später genauer zu bestimmender Elektrizitätsgrad angenommen wurde, welcher dem Physiker Volta zu Ehren den Namen „Volt“ erhalten hat. Unsere Aichungsskala ist also — bei Anwendung des Normalkondensators²⁰⁾ — zugleich eine Volt-Skala. Ohne Kondensator (z. B.

²⁰⁾ Die Verstärkungszahl eines Kondensators ist u. a. von der Witterung abhängig, daher gilt unsere Voltskala, genau genommen, nur für den damaligen Zustand des Kondensators. Deshalb ist aber die Skala immerhin als Aichungsskala auch für andere Kondensatorplatten brauchbar. Wollten wir aber den beobachteten Elektrizitätsgrad in Volt angeben, so hätten wir nur nötig, den Ausschlag zu bestimmen, den 1 Volt hervorruft, z. B. 0,85; dann wäre der Bruch $1/0,85$ der Reduktionsfaktor, mit dem wir die beobachteten Werte zu multiplizieren hätten.

mit der unteren Platte allein) entspricht eine Skaleneinheit, wie wir sahen, einem 200 mal grösseren Zustandsgrad, also 200 Volt.

* * *

Kapazität
des Kondensators.

Wir erkannten schon (S. 64), dass ein Kondensator — auch bei sonst vorzüglicher Isolation — nur soweit geladen werden kann, bis die nicht gebundene Elektrizität auf der elektrisierten Platte denselben elektrischen Zustandsgrad angenommen hat, den die benutzte Elektrizitätsquelle besitzt. Durch die Verdichtungskraft des Kondensators ist es aber möglich, das Fassungsvermögen, die Kapazität, der Platten künstlich zu vergrössern. Bisher haben wir nur sehr kleine Elektrizitäts-

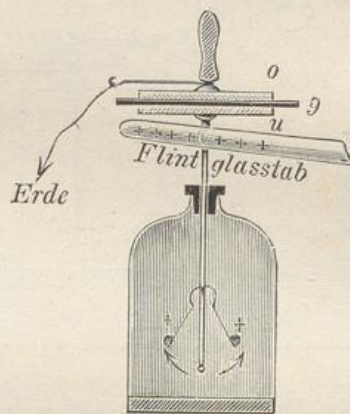


Fig. 38.

mengen auf diese Weise angesammelt. Wir können aber auch grössere Elektrizitätsmengen verwenden, nur muss die isolierende Schicht genügend dick sein, um ein Überspringen von elektrischen Funken durch die Schicht hindurch zu verhindern.

Ich benutze dieselben Messingplatten, die ich bei unserem heutigen ersten Versuche verwandte, nur lege ich eine Glimmerplatte von 1 mm Dicke dazwischen, welche die Kondensatorplatten allseitig um 2 bis 3 cm überragt. Während ich die obere Platte ableitend berühre, lade ich die untere mit dem elektrisierten Flintglasstabe, indem ich ihn an den Leitungstab des Elektroskopes (Fig. 38) anlege und abziehe. Dieses wiederhole ich etwa 10 mal. Sie sehen, die Blättchen des Elektroskopes zeigen freie Elektrizität an. — Hebe ich nun die obere Platte in möglichst wagerechter Stellung ab, so kann ich

beiden Platten durch Annäherung des Knöchels meines Zeigefingers einen deutlich sichtbaren und hörbaren Funken entlocken. Ich wiederhole nochmals den Versuch und bitte Sie, beide Platten des geschlossenen Kondensators gleichzeitig zu berühren — Sie fühlen ein Prickeln in den berührenden Fingern, das empfindlicher ist als das durch Überschlagen des Funkens aus der abgehobenen Platte bewirkte Stechen.

Wollten wir diese Art der Kondensatoren einfacher herstellen, so brauchten wir nur eine gut isolierende Glastafel beiderseits mit Zinnfolie so zu bekleben, dass ein isolierender Rand übrig bleibt (Franklin's Tafel), doch sind solche Apparate leicht zerbrechlich. Eine handlichere Form der Kondensatoren für grössere Elektrizitätsmengen stellt die von Kleist

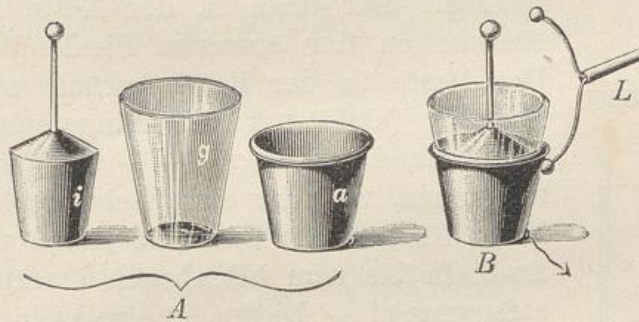


Fig. 39.

Zerlegbare elektrische Flasche. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

(1745) und Cunäus in Leyden (1746) erfundene elektrische Flasche dar, die auch unter dem Namen der „Kleist'schen“ oder „Leydener Flasche“ bekannt ist.

Hier lege ich Ihnen ein zerlegbares Exemplar der elektrischen Flasche vor, an welchem wir die Wirkungsweise bequem kennen lernen können (Fig. 39).

Ein geschlossenes Blechgefäß (i), das mit einem starken Leitungsstabe und einer Kugel versehen ist, passt genau in ein gut isolierendes Becherglas (g) und dieses in ein offenes Blechgefäß (a). B, Fig. 39 zeigt die zusammengesetzte elektrische Flasche. Der Blechmantel a wird die äussere, und i die innere Belegung genannt.

Ich lade die Flasche, indem ich den elektrisierten Glasstab wiederholt, etwa 15—20 mal, an der Stelle ansetze, wo die Kugel am Leitungsstabe aufsitzt, und fortziehe, sodass möglichst

Zerlegbare
elektrische
Flasche.

viele Oberflächenteile mit dem Metall in Berührung kommen; zugleich berühre ich mit der anderen Hand die äussere Belegung oder ich hake den Draht der Erdleitung in eine hier angelötete Drahtöse (o). Berühre ich nun mit dem sogenannten Auslader (Fig. 39, L) — der aus einem starken Draht besteht, welcher mit 2 Metallkugeln und einem isolierenden Handgriff (g) versehen ist — zuerst die äussere Belegung und nähere dann die andere Kugel der Flaschenkugel, so hören Sie einen scharfen Knall und sehen einen glänzenden Funken überspringen.

Wollen Sie die Wirkung dieses Kondensators erproben? Während ich die Flasche nochmals lade, bilden Sie eine Kette

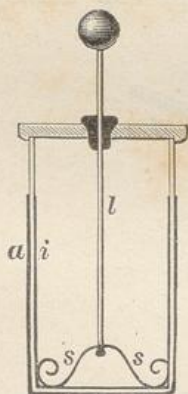


Fig. 40.
Grosse elektrische
Flasche.
 $\frac{1}{15}$ natürl. Grösse.

von 3 bis 4 Personen, die sich die Hände reichen. Der erste in der Kette fasse die Flasche an der äusseren Blechhülle — so! Der letzte in der Kette berühre mit einem Knöchel (nicht mit der Fingerspitze!) der freien Hand die Kugel — Sie zucken Alle zusammen, weil der elektrische Schlag durch Ihren Körper fuhr und Ihre Hand- und Armmuskeln bis zum Ellenbogen krampfhaft zusammenzog! — Dieses ist eine kleine Flasche. Die grössere, die Sie dort auf dem Nebentische stehen sehen (Fig. 40), kann noch weit stärker geladen werden. Das Glasgefäss hat eine cylindrische Gestalt und ist aussen und innen mit Zinnfolie bis zu $\frac{2}{3}$ seiner Höhe beklebt. Der Leitungsstab ist durch einen Ebonitpfropf vom Holzdeckel isoliert, der ihm mehr Halt giebt und das Innere des Gefässes vor Staub schützt. Das untere Ende des Leitungsstabes ist mit 3 schmalen, federnden Blechstreifen (s) versehen, welche die leitende Verbindung mit der inneren Staniolbelegung herstellen. Zur Erhöhung der Isolierfähigkeit ist die nicht belegte Glasfläche, nach vorhergehender genügender Erwärmung, mit Schellackfirnis überzogen worden.

Ehe wir die Wirkungsweise der elektrischen oder Leydener Flasche weiter verfolgen, wollen wir uns nach einem Hilfsmittel umsehen, das uns in den Stand setzt, in bequemerer Weise grössere Elektrizitätsmengen zu erzeugen, als es mit dem Flint-

glasstabe möglich ist. Ein solcher Apparat, der zugleich eine interessante Verwendung der Influenzelektricität zeigt, ist das Elektrophor (Wilke 1762).

Ich nehme eine 5—6 mm dicke Ebonitscheibe, deren obere Fläche mit Schmirgelpapier abgerieben²¹⁾ und deren untere Fläche mit starkem Zinnpapier (Stanniol) beklebt ist. Ich lege die Ebonitplatte (E, Fig. 41) auf eine etwas grössere Blechplatte (b) und peitsche sie mit einem Fuchsschwanz. Darauf setze ich eine hohle Metallscheibe mit abgerundeten Rändern (D) und einem isolierenden Handgriff auf die elektrisierte Ebonitplatte und hebe sie wieder ab — sie ist unelektrisch. Berühre ich diese Platte, den sogenannten Deckel des Elektrophors mit der Hand, während er aufliegt, so hören wir ein Knistern und der wieder aufgehobene Deckel ist stark positiv elektrisch! Noch kräftiger ist die Wirkung, wenn ich die untere Blech-

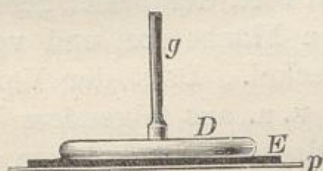


Fig. 41.

Elektrophor. $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse.

platte (b, Fig. 41) und den aufliegenden Deckel zugleich berühre. Versuchen Sie es einmal — ein kleiner Schlag erfolgt, der an die Entladung der elektrischen Flasche erinnert und, wie wir gleich sehen werden, auf einer verwandten Erscheinung beruht. Der jetzt abgehobene Deckel ist noch stärker

²¹⁾ Dieses Abreiben der Ebonitplatte mit Schmirgel- oder Glaspapier hat einen doppelten Zweck. Einerseits soll eine matte Fläche erzielt werden, da eine solche stärker negativ elektrisch wird (s. o. S. 13); zugleich soll die oxydierte, leitende oberste Schicht entfernt werden. Die meisten Ebonitsorten zeigen dieses sehr störende Oxydieren an der Luft, andere — die sich äusserlich gar nicht unterscheiden — haben diese Eigenschaft nicht. So sind z. B. die Ebonitpfropfen bei unserem Aluminium-Elektroskop und beim Elektrometer seit 5 Jahren in Gebrauch, ohne ihre Isolierfähigkeit im Geringsten einzubüssen. Weniger gute Pfropfen müssen, nach einem Vorschlage von Prof. Weinhold, von Neuem abgeschliffen und sofort mit Schellackfirnis überzogen werden.

positiv elektrisch geworden, so dass er bei Annäherung des Knöchels 3—4 cm lange, ziemlich empfindliche Funken giebt.

Welche Wirkung hatte nun die gleichzeitige Berührung beider Platten?

Innerer
Vorgang.

Die stark negativ elektrische Ebonitplatte erzeugt durch Influenz im Deckel und zugleich auf ihrer unteren Seite $\pm E$. Die abgestossene $-E$ des Deckels kann nur fort, wenn er ableitend berührt wird, dagegen fliesst die $-E$ der Bodenplatte durch den Tisch zur Erde ab; es bleibt mithin hier $+E$ gebunden zurück und wirkt ihrerseits bindend auf die Ladung der elektrisierten Fläche, wodurch deren freie Elektrizität vermindert wird. Werden nun beide Metallplatten leitend verbunden, so vereinigt sich die freie $-E$ des Deckels mit der $-$ wegen der grösseren Entfernung von der elektrisierten Oberfläche $-$ schwächer gebundenen $+E$ der Bodenplatte; dadurch wird der bisher gebundene Teil der $-E$ auf der elektrisierten Fläche frei und verstärkt die Influenzwirkung auf den Deckel. Dass der Vorgang sich in dieser Weise abspielt, geht u. a. aus folgendem Versuch hervor. Ich lege den wieder entladene Deckel von Neuem auf und berühre ihn allein ableitend. Bitte, berühren Sie ihn nochmals! — Sie empfinden keine weitere Entladung. Jetzt halten Sie den einen Finger fest auf dem Deckel und berühren Sie zugleich die Bodenplatte (b) — Sie fühlen einen deutlichen Schlag, wenngleich nicht so stark, wie vorhin! Der Grund dafür liegt darin, dass auf der unteren Seite der Ebonitplatte gebundene $+E$ Ihre Hand als Brücke benutzte, um in die untere Fläche des Deckels, also möglichst nahe an die $-E$ der Ebonitfläche heranzukommen! *Hieraus ersehen wir, dass unter Umständen die „gebundene“ Elektrizität abgeleitet werden kann!* — Warum vereinigen sich aber beide Elektrizitäten, des Deckels und der elektrisierten Scheibe, nicht, da sich die beiden Oberflächen doch berühren? Der Grund ist der, dass ein Isolator überhaupt seine Ladung nur schwer abgiebt. (Ausserdem hat jede Fläche, auch die glatteste, kleine Erhöhungen; also ruht der Elektrophordeckel gewissermassen auf isolierenden Spitzen.) Die Ladung der Ebonitplatte nimmt anfangs etwas, später so wenig ab, dass — wenn der aufgesetzte Deckel ableitend berührt worden ist — ein Elek-

trophor seine Ladung bei trockener Luft wochenlang erhalten kann.

Die ursprünglichen Elektrophorplatten bestanden aus gegossenen Harzmassen, die sich aber ihrer Zerbrechlichkeit wegen nicht gut zu diesem Zwecke eignen.

* * *

Kehren wir jetzt zu unseren Versuchen mit der elektrischen Flasche zurück. Laden wir zunächst die zerlegbare Flasche (Fig. 38) — 10 Ladungen des Elektrophordeckels werden genügen. Beim Entladen vermittelt des Ausladers (Fig. 39) tritt ein weit glänzenderer Funken auf, der von einem bedeutend stärkeren Knall begleitet ist, als beim vorigen Versuch. Jetzt, nachdem die Flasche entladen ist, klopfe ich mit dem Bleistift an das Glasgefäss und — wir können nochmals eine, wenn auch schwache, Entladung erzielen. Durch längeres Stehenlassen hätten wir dasselbe erreicht.

Wie sollen wir uns diese Restladung, das sogenannte „Flaschenresiduum“ erklären?

Flaschen-
residuum

Ich stelle die zerlegbare Flasche auf einen gut isolierenden Parafinblock und knüpfe um den Leitungsstab einen starken Seidenfaden. Jetzt elektrisiere ich die Flasche wie vorhin, wobei ich natürlich die äussere Belegung ableitend berühre, und hebe am Faden die innere Belegung heraus. Ein damit berührtes Papierelektroskop zeigt eine nur mässige Ladung + E.

Nun hebe ich das Glasgefäss heraus und berühre die isolierte äussere Belegung mit dem Kopfe des wieder entladenen Papierelektroskopes — es ist kaum eine Spur — E erkennbar! Setze ich aber die Flasche wieder zusammen, so tritt — beim Anlegen des Ausladers — ein glänzender Funken auf, dessen lauter Knall beweist, dass die elektrische Flasche ihre Ladung behalten hatte.

Offenbar hatte sich der von uns „gebunden“ genannte Teil der Ladung auf die Oberfläche des Glases begeben. Möglicher Weise war auch ein Bruchteil der Ladung in das Glas eingedrungen. Da nun, wie wir wissen, die Isolatoren dem Fliessen der Elektrizität einen sehr grossen Widerstand

entgegensetzen, die Funkenentladung aber in ausserordentlich kurzer Zeit erfolgt, so kann nicht alle Elektrizität rasch genug folgen, es bleibt mithin ein Rest zurück. Erst wenn durch die Entladung die vorhandenen Elektrizitätsmengen und damit die gegenseitige Anziehungskraft stark vermindert ist, erlangen — bildlich gesprochen — die nachgebliebenen elektrischen Teilchen eine grössere Beweglichkeit. Hiernach ist es wahrscheinlich, dass eine entladene Flasche nach längerem Stehen noch eine oder mehrere Entladungen von abnehmender Stärke liefern kann. Das ist thatsächlich der Fall.

Ich lade jetzt die grosse elektrische Flasche (Fig. 40), deren Leitungsstab ich durch einen Draht mit einem Papierelektroskop verbunden habe, lege die eine Kugel des Entladers an die äussere Belegung und nähere langsam die andere Kugel der Flaschenkugel. Bei einer gewissen Entfernung springt ein glänzender Funken über, der von einem starken Knalle begleitet ist. Bei weiterer Annäherung entstehen noch mehrere Funken, deren Stärke augenscheinlich sehr rasch abnimmt. Bei jeder Entladung wird natürlich — wie das Sinken der Blättchen am Elektroskop beweist — die Menge der aufgespeicherten Elektrizität vermindert, dadurch nimmt die elektrische Dichte und die Spannung (d. i. die nach aussen gerichtete abstossende Kraft der gleichnamig elektrischen Teilchen) ab; mithin reicht die Kraft nicht mehr aus, den Luftwiderstand zu überwinden. Erst bei weiterer Annäherung der Kugeln kann wieder ein Teil der Ladung sich durch einen Funken entladen. Nach dem Gesagten ist es klar, dass bei Funkenentladung die Restladung der Flasche umso grösser sein muss, je grösser die Funkenstrecke war, dagegen hängt die nach kurzer leitender Berührung beider Belegungen nachbleibende Restladung der elektrischen Flasche, das „Flaschenresiduum“ von der Beschaffenheit des Glases ab.

* * *

Wir wollen uns jetzt eine Vorstellung davon zu bilden suchen, wie gross die Elektrizitätsmenge ist, welche eine elektrische Flasche aufzuspeichern vermag, im Vergleich zu einem isolierten Leiter von derselben Form und

Grösse, wie die innere Belegung, wenn beide bis zu einem gleichen elektrischen Zustandsgrade geladen sind.

Als Probekörper wollen wir die innere Belegung der zerlegbaren elektrischen Flasche verwenden, die an zwei starken Seidenfäden aufgehängt ist (J, Fig. 42). Zur Messung des elektroskopischen Zustandes dient uns ein Papierelektrometer, welches aus dem schon benutzten Elektrometergehäuse und der Skala besteht, nur ist ein anderer Ebonitpfropf eingesetzt, dessen Leitungsstab mit einem Papierblättchen, statt des für diesen Zweck zu zarten Aluminiumblättchens, versehen ist. Ein Stativ (S) trägt einen horizontalen Ebonitstab mit einer festen und einer verschiebbaren Kugel. Erstere ist mit dem

Kapazitäts-
messer.

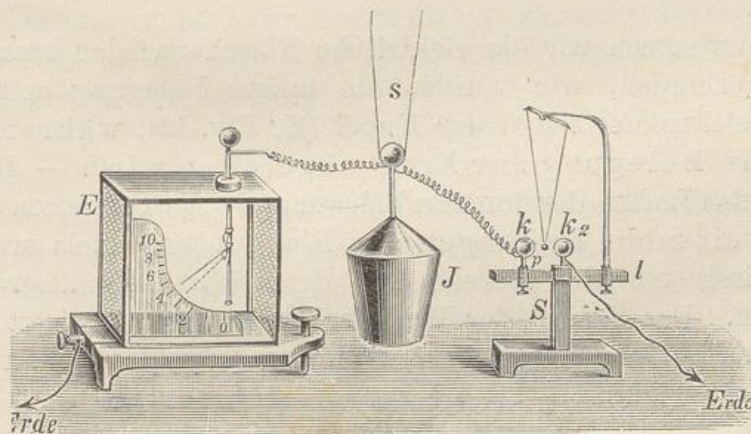


Fig. 42.

Kapazitätsmesser (S) in Verbindung mit einem Papier-Elektrometer (E). $\frac{1}{8}$ natürl. Grösse.

Probekörper J, letztere mit der Erde leitend verbunden. Zwischen beiden hängt an 2 Seidenschnüren das kleine elektrische Pendelchen (p).

Sobald ich nun den isolierten Probekörper (J) mittelst des Elektrophordeckels lade, beginnt das Pendelchen (p) zwischen beiden Kugeln hin und her zu pendeln, wobei die Ladung des Probekörpers allmähig abnimmt, wie der sinkende Ausschlag des Elektrometers zeigt.

Ich lade den Probekörper so lange, bis die Ablenkung des Elektrometerblättchens über 4 beträgt. Nun wollen wir an der auf dem weissen Projektionsschirm (Fig. 15 S. 27) scharf sichtbaren Skala den sinkenden Ausschlag verfolgen. Einige von Ihnen mögen mich hierbei unterstützen. In dem Mo-

mente, wo der Ausschlag genau $= 4$ ist, gebe ich ein Zeichen, und die Anderen beginnen die Schwingungen des Pendels zu zählen, bis ich ein zweites Zeichen gebe, dass der elektrische Zustandsgrad genau $= 3$ ist. Wieviel ganze Pendelschwingungen haben Sie gezählt? 15! Also waren 15 Entladungen durch die Pendelkugel nötig, um beim Probekörper den Zustandsgrad von 4 auf 3, d. h. um eine Einheit herabzusetzen!

Zum Vergleich ersetze ich die isolierte Belegung (J) durch eine isolierte Hohlkugel von 10 cm Halbmesser, die wir noch später brauchen werden. Hier sind 19 Entladungen nötig, um wie vorhin den Elektrizitätsgrad von 4 auf 3 herabzusetzen.

Jetzt setzen wir die elektrische Flasche wieder zusammen und verbinden, wie vorhin, die innere Belegung mit dem Papierelektrometer und der Kugel (K, Fig. 42), während die äussere Belegung zur Erde abgeleitet wird. — Ich beginne das Laden der inneren Belegung — Sie bemerken schon, dass weit mehr Ladungen des Elektrophordeckels erforderlich sind, um die Flasche auf denselben Zustandsgrad zu bringen. Das Zählen der Pendelschwingungen ist jetzt etwas mühsam. Wir wollen daher, wenn der Ausschlag genau 4 beträgt, das Zählen eine Minute lang fortsetzen — wir zählen 154 Entladungen in 60 Sekunden — und die Zeit beobachten, die nötig ist, um die Ladung von 4 auf 3 zu erniedrigen. — Da! Nach 3 Min. 42 Sek. $= 222$ Sek. ist dieser Zustand erreicht. Die Anzahl der Entladungen ist mithin $= 222 \cdot 154 / 60 = 570$ Entladungen. Wir erhalten also für dieselbe Differenz des elektrischen Zustandsgrades:

bei der isolierten inneren Belegung	15 Entladungen
- - elektrischen Flasche	570 -
- - isolierten Kugel ($r = 10$ cm)	19 -

Wir sehen hieraus, dass das elektrische Fassungsvermögen, oder die „elektrische Kapazität“ unserer kleinen Leydener Flasche $570/15 = 38$ mal grösser, als die Kapazität der isolierten inneren Belegung, und $570/19 = 30$ mal grösser ist, als die der isolierten Kugel von 10 cm Halbmesser.

Mit der grossen elektrischen Flasche können wir hier die Versuche nicht anstellen, da die Entladung zu lange Zeit in Anspruch nehmen würde. Bei einem früher angestellten Versuche waren 72 Minuten erforderlich. Die Anzahl der Entladungen war also $72 \cdot 154 = 11088$. Also ist die Kapazität der grossen elektrischen Flasche $11088/19 = 583$ mal grösser, als die der isolierten Kugel von 10 cm Halbmesser! Sie begreifen nun, welch eine ungeheure Ladung in einer grossen, bis zur Sättigung geladenen elektrischen Flasche stecken muss.

Wir lernen hier in der inneren Belegung einer grossen elektrischen Flasche, deren äussere Belegung zur Erde abgeleitet ist, eine neue sehr beständige Elektrizitätsquelle kennen, die u. a. (vergl. S. 27 u. 66) sehr geeignet zum Aichen von Elektrometern ist (Anh. 10).

Die elektrische Flasche als konstante Elektrizitätsquelle.

* * *

Nun wollen wir zum Schluss die Frage erledigen: In welcher Abhängigkeit steht die Bindekraft und damit die Kapazität eines Kondensators von der Entfernung beider Platten, und welchen Einfluss hat die Anwendung einer isolierenden Platte statt der trennenden Luftschicht?

Durch zwei Ebonitständer (l_1 und l_2 , Fig. 43), welche auf der in Millimeter geteilten optischen Bank (O) verschiebbar sind, wurden zwei starke Messingdrähte geführt, an welche die schon benutzten grossen Platten (p_1 und p_2) geschraubt sind. Die Drähte sind mit den beiden Elektrometern A und B leitend verbunden. Den Ständer l_1 stelle ich genau auf Null, rücke l_2 heran, dass die beiden Platten sich gerade berühren und fixiere den Ständer l_2 durch eine Schraube (s). Wird nun der Ständer (l_1) nach rechts abgeschoben, so können wir den Abstand der Platten unmittelbar auf Zehntelmillimeter genau abschätzen.

Zunächst rücke ich die bewegliche Platte p_1 soweit ab als möglich (2 Meter) und lade das Elektrometer A so stark, dass der Ausschlag 10 Teilen der Aichungsskala entspricht. Jetzt schiebe ich die elektrisierte Platte (p_1) wieder heran, bis die Entfernung beider Platten gerade 8 cm beträgt — der

Ausschlag am Elektrometer $A = 0,6$. Rücke ich die Platte auf die halbe Entfernung, 4 cm, so zeigt A den Ausschlag $= 1,30$. (Zugleich bemerken wir, dass beim Elektrometer B die freie Elektrizität in dem Grade abnimmt, als bei A ent-

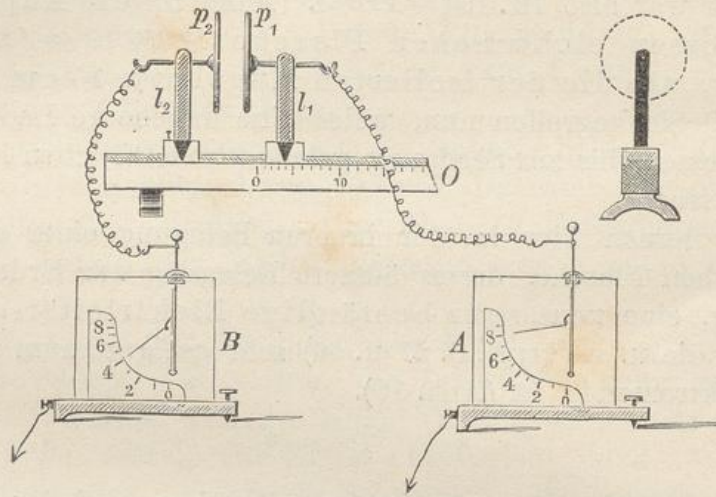


Fig. 43.

Luftkondensator, $\frac{1}{10}$ natürl. Grösse,

gegengesetzte Elektrizität in der Platte p_2 gebunden und der gleiche Betrag an gleichnamiger Elektrizität in das Elektrometer A abgestossen wird.) Fahren wir so fort und stellen die Resultate zusammen, so sehen wir:

Entfernung beider Platten	= 8 cm	4 cm	2 cm	1 cm
Influenzladung des Elektrometers B	= 0,6	1,3	2,7	5,5
Verhältnis der Ladungen	1	: 2,2	: 4,5	: 9,1
			1 : 2 (nahezu).	

D. h.: Bei Plattenkondensatoren stehen — für kleine Abstände — die Bindekräfte, also auch die Kapazitäten nahezu im umgekehrten Verhältnis zur Entfernung der Platten.

Dieses Gesetz gilt genau für Kugelkondensatoren (zwei von einander isolierte, konzentrische Metallkugeln, von denen also die eine die andere völlig umschliesst) und annähernd auch für elektrische Flaschen.

Hier lege ich Ihnen eine auf beiden Seiten gut ebene Parafinplatte von 18 cm Durchmesser und etwa 2 cm Dicke vor, die mit einem am Rande hineingesteckten Ebonitgriff ver-

sehen ist. Ich halte sie dicht an die Platte p_2 (Fig. 43) und schiebe die wieder entladene Platte p_1 bis zur Berührung heran. Wir lesen am Zeiger des Ständers l_1 einen Plattenabstand von 1,80 cm ab, das ist also die Dicke der Parafinplatte.

Wir wollen nun die Wirkung dieser Parafinplatte (welche die Metallplatten allseitig um 3 cm überragt, was nötig ist) mit der einer gleichdicken Luftschicht vergleichen. — Ich lade wiederum das Elektrometer A, aber etwas schwächer, als vorher. Jetzt schiebe ich den Ständer e_2 wieder auf den Skalenpunkt 1,80, d. h. auf eine Entfernung, die gleich der Dicke der Parafinplatte ist. Das Elektrometer A zeigt einen Ausschlag $a_1 = 2,1$. Nun stelle ich die Parafinplatte ein und rücke p_2 wieder heran, bis zur Berührung. Die beiden Platten sind also durch eine Parafinschicht isoliert. Das Elektrometer A giebt nun den Ausschlag $a_2 = 6,2$; also ist die Wirkung einer isolierenden Parafinschicht $6,2/2,1 = 2,9$ mal stärker, als die einer gleich dicken Luftschicht!

Bedeutung
der dielek-
trischen
Konstante.

Dieser Quotient

$$\frac{\text{Kapazität des Kondensators beim Isolator}}{\text{Kapazität desselben Kondensators bei einer Luftschicht}} = k,$$

heisst die dielektrische Konstante des Isolators (Dielektrikums). Damit haben wir die Bedeutung der uns früher (S. 57) unbekannt gebliebenen Konstante in dem Ausdruck für das Influenzgesetz $E = (J/r^2) \cdot k$ gefunden. Sie besagt, dass wenn die Kapazität desselben Kondensators für Luft als isolierende Schicht $= 1$ gesetzt wird, die Kapazität bei einer ebenso dicken Schicht des betreffenden Isolators K mal grösser ist.

So ist z. B., nach genaueren Messungen, als die unserigen sind,
für Luft $= 1$

Schwefel . . .	3,84	Vacuum . . .	0,999 410
Ebonit . . .	3,15	Wasserstoff . .	0,994 764
Glas . . .	3,013—3,243	Kohlensäure . .	1,000 356.

Wir sehen hieraus, dass für die durch Influenz zu erzeugende Elektrizitätsmenge nicht nur der Abstand des influierenden Körpers vom influierten, sondern auch in hohem Grade die Natur des umgebenden Dielektrikums maassgebend ist (Faraday).

Wir werden später, bei den mit der Influenzmaschine anzustellenden Versuchen, eine interessante Eigenschaft eines flüssigen Dielektrikums kennen lernen.

* * *

Das Ziel unserer heutigen Wanderung ist erreicht; wir haben alle wichtigen Grunderscheinungen der statischen oder Reibungs-Elektricität kennen gelernt und wollen das nächste Mal die Apparate zur Erzeugung grösserer Elektrizitätsmengen, die Elektrisiermaschinen, studieren.