

## Abschnitt VI.

# Elektrizität.

### A. Elektrizität in Ruhe. Elektrostatik.

§ 238. Wenn wir ein Stück Bernstein an einem wollenen Lappen reiben und bringen es dann in die Nähe von leichten Körperchen, Papierschnitzeln, Holundermarkkugeln u. s. w., so werden dieselben angezogen, fliegen an das Bernsteinstück heran, bleiben einen Augenblick haften, werden dann kräftig abgeschleudert. Dieser Versuch war schon den Griechen bekannt, und da Bernstein griechisch *ἤλεκτρον* heisst, nennt man das der Erscheinung zu Grunde Liegende Elektrizität. Wie Bernstein verhalten sich sehr viele Körper: Schwefel, Harze, Siegellack, Ebonit, Glas u. s. w. Metalle zeigen die Anziehung nicht, wenn wir Stäbe davon direkt in die Hand nehmen und reiben, wohl aber, wenn sie sich an einem gläsernen Griff befinden. Wir werden später (§ 241) sehen, dass die Metalle gute Leiter der Elektrizität sind, d. h. dieselbe fliesst durch Metalle sofort ab, während Glas ein Isolator ist, d. h. die Elektrizität nicht leitet; daher wird scheinbar ein Metallstab nicht elektrisch, wenn wir ihn in der Hand halten, da dann die Elektrizität sofort zur Erde abfliesst. Wir können so geradezu sagen: Alle Körper werden durch Reibung elektrisch, wenn auch in sehr verschiedenem Grade, und wenn wir es auch nicht immer in der angegebenen Art nachweisen können, aus später zu besprechenden Gründen.

Wir wollen nun ein leichtes Holundermarkkugeln an einem Kokonfaden aufhängen, eine Glasstange an Seide reiben und sie dem Kugeln nähern. Wie schon angegeben, wird es erst angezogen, dann aber abgestossen, nachdem es den Glasstab berührt hat. Jeder andere geriebene Glasstab stösst jetzt das Kugeln

ebenso ab. Reiben wir aber eine Harzstange, z. B. Siegelack, und nähern sie der Kugel, so wird diese vom Harze noch viel lebhafter angezogen, als wenn sie vom elektrischen Glase nicht berührt war. — Berühren wir dagegen die Kugel zuerst mit einer elektrischen Harzstange, so wird sie von allen geriebenen Harzstangen abgestossen, von einer geriebenen Glasstange dagegen viel lebhafter angezogen.

Diese Versuche zeigen uns, dass Harz und Glas durch Reiben elektrisch werden, aber in verschiedener Weise. Man nimmt daher an, dass es zwei Arten von Elektrizität gibt, Glaselektrizität und Harzelektrizität. Man ist übereingekommen, erstere positive, letztere negative Elektrizität zu nennen. Die geriebene Glasstange enthält positive Elektrizität, bei der Berührung mit dem Kügelchen wird diesem etwas davon mitgeteilt, und nun stossen sich beide ab, während die mit negativer Elektrizität geladene Harzstange das positive Kügelchen anzieht. Wir können also aus den beschriebenen Versuchen den Schluss ziehen: Gleichnamige Elektrizitäten stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Indem wir die Körper an einander reiben, teilen wir ihnen von aussen nichts mit; die Elektrizität, mit welcher sie geladen erscheinen, kann also nur durch eine Trennung oder andere Verteilung schon vorhandenen Stoffes entstehen. Wir müssen daher annehmen, ähnlich wie beim Magnetismus, dass jeder Körper von vornherein gleichgrosse Mengen positiver und negativer Elektrizität enthalte, die nach aussen unwirksam sind, weil sie überall in gleicher Menge gemischt vorhanden sind. Beim Reiben werden sie getrennt, und da der eine Körper, z. B. die Glasstange, danach mehr positive Elektrizität enthält, muss der zweite Körper, in diesem Fall das seidene Tuch, die gleiche Menge negativer Elektrizität enthalten. Das bestätigt in der That der Versuch: Der reibende Körper ist immer entgegengesetzt elektrisiert wie der geriebene.

Während wir beim Magnetismus in jedem Körper immer beide Arten von Magnetismus haben, sie nicht etwa durch Zerbrechen des Magnetstabes trennen konnten, sind wir bei der Elektrizität im stande, einem Körper nur die eine oder andere Art der Elektrizität zu erteilen.

Man hat angenommen, die verschiedenen Körper hätten eine verschiedene Verwandtschaft zu positiver oder negativer Elektrizität. Sobald wir zwei Körper zur Berührung bringen, wird derjenige von

beiden, welcher stärkere Verwandtschaft zur positiven Elektrizität hat, etwas davon zu sich herüberziehen, der andere Körper, der vorher gleiche Mengen + und - Elektrizität hatte, wird jetzt weniger positive haben, daher - elektrisch sein. Das Reiben befördert nach dieser Anschauung nur die Berührung, lässt sie an viel mehr Punkten der Oberfläche stattfinden.

Es folgt weiter, dass Zuführung positiver oder Entziehung der gleichen Menge negativer Elektrizität genau gleich wirken, der Körper wird positiv elektrisch; ebenso wie Entziehung positiver oder Zuführung negativer Elektrizität den Körper negativ macht. Auch ergibt sich, dass wir einen z. B. positiv elektrischen Körper unelektrisch machen können, indem wir ihm den Ueberschuss positiver Elektrizität entziehen, oder indem wir ihm die gleiche Menge negativer Elektrizität zuführen, wodurch die positive neutralisiert wird.

§ 239. Die Hypothese, dass es zwei Arten von Elektrizität gebe, die man sich als imponderable Fluida zu denken hat, rührt von Symmer (1759) her. Danach hat also jeder Körper von vornherein unerschöpflich grosse, aber gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität, und da die eine gerade ebensoviel abstösst, wie die andere anzieht, erscheint der Körper nach aussen unelektrisch. Sobald aber das eine Fluidum überwiegt, ist er entsprechend elektrisch.

Von Franklin (1755) ist die sog. unitarische Hypothese im Gegensatz zu jener dualistischen aufgestellt. Danach gibt es nur ein elektrisches Fluidum; hat der Körper eine normale Menge davon, so erscheint er unelektrisch, hat er mehr, so ist er positiv, hat er weniger, so ist er negativ. Diese Theorie, welche zunächst einfacher erscheint, ist in ihren Anwendungen viel komplizierter; sie zwingt nämlich zur Annahme, dass ponderable Massen sich abstossen, Elektrizitätsmengen ebenfalls, dagegen Elektrizität und Materie sich anziehen.

Endlich ist von Faraday (1837) eine ganz neue Auffassung ausgegangen, welche namentlich durch Maxwell genauer ausgearbeitet und in präzise Form gebracht wurde. Wir können auf diese Theorie erst später eingehen.

Wie wir uns aber auch das Wesen der Elektrizität denken mögen, wir können die Vorgänge am bequemsten beschreiben nach der dualistischen Hypothese. Das wollen wir denn auch thun,

gerade wie wir die Wärmevorgänge beschrieben haben, als ob die Wärme ein Stoff wäre, obgleich wir dort sicher wussten, dass sie es nicht ist, und was sie ist.

§ 240. Zur Erzeugung grösserer Mengen von Elektrizität dient die Elektrisirmaschine, welche zuerst von O. v. Guericke (1663) hergestellt wurde. Das Prinzip derselben erläutert Fig. 171: Eine kreisrunde Glasscheibe A ist mittelst Kurbel B um eine horizontale Axe drehbar. Sie reibt sich dabei in dem sog. Reibzeug C, welches aus zwei innen mit Lederkissen überzogenen Brettchen besteht; dieselben sind überstrichen mit Amalgam, einer Mischung von Quecksilber mit Zinn oder Zink und ein wenig Fett, also einem metallischen Leiter; das Amalgam reicht bis an den Rand der Brettchen und wird durch einen hier befindlichen Metallstreifen und durch eine daran angeknüpfte Kette oder Draht D mit der Erde (Wasser- oder Gasleitung) verbunden. Am Reibzeug sind zwei Seidenlappen E befestigt, welche die Scheibe bei der Drehung auf ihrem weiteren Wege umgeben. Wo die Scheibe E verlässt, tritt sie in einen innen mit Metallspitzen versehenen Metallbügel F, welcher die Scheibe umgibt, sie aber nicht berührt. Er ist in metallischer Verbindung mit einer grösseren Metallkugel G, dem Konduktor, welcher auf dem gläsernen Fuss H isoliert aufgestellt ist.

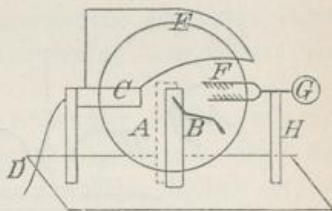


Fig. 171.

Die Zwecke der einzelnen Teile können wir erst allmählich kennen lernen (§ 253); hier genüge folgendes: Beim Drehen der Scheibe reibt sie sich am Metall des Reibzeuges, wird dadurch positiv, während das Reibzeug negativ wird. Von letzterem als einem Leiter kann die Elektrizität zur Erde abfliessen, während die isolierende Scheibe ihre Elektrizität mit fortführt, bis sie zwischen die Spitzenkämme F tritt. Hier gibt sie scheinbar ihre Elektrizität an F ab, welche sich in G sammelt während die Scheibe wieder unelektrisch zwischen C gelangt, wo neue Elektrizität erzeugt wird.

§ 241. Mit einer solchen Maschine kann man bedeutende Elektrizitätsmengen im Konduktor ansammeln, und dann die Versuche über Anziehung und Abstossung, über Leitungsfähigkeit u. s. w.

deutlicher ausführen. Einige der üblichen Versuche sind folgende: Mit dem Konduktor A (Fig. 172) wird durch einen Draht eine isoliert (auf Glasfuss) aufgestellte Metallglocke B verbunden, die sich daher lädt. Neben ihr steht eine zweite nicht isolierte Glocke C, und zwischen beiden hängt an einem (isolierenden) Seidenfaden ein Metallkugeln D. Dasselbe wird von B angezogen, lädt sich auch mit + Elektrizität, wird daher gleich darauf abgestossen, fliegt nach C und gibt hier seine Elektrizität ab, die zur Erde fließt.

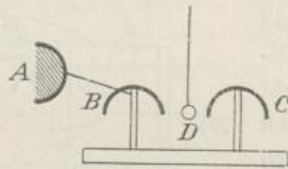


Fig. 172.



Fig. 173.

Das unelektrische D wird jetzt wieder angezogen und transportiert wieder ein Quantum Elektrizität von B über C zur Erde. Auf diese Weise wird der Konduktor langsam entladen.

Stellt man auf den Konduktor A (Fig. 173) einen Draht, an dessen oberem Ende eine Zahl dünner Streifen von Seidenpapier befestigt sind, so laden sich diese alle positiv, stossen sich daher ab und sträuben sich nach allen Seiten, während sie ungeladene schlaff herunterhängen. Berühren wir nun den Konduktor mit verschiedenen Substanzen, so fallen die Papierchen zusammen, sobald die Substanz ein Leiter ist, der Konduktor also durch Berührung entladen wird, anderenfalls bleiben sie gesträubt. So können wir uns überzeugen, dass die Metalle die besten Leiter sind, dass auch die meisten Flüssigkeiten und feuchten Körper, daher auch der menschliche Körper, sehr gute Leiter sind; dagegen sind Harze, Ebonit, Seide, Glas, Luft vorzügliche Isolatoren. Auch feuchte Luft isoliert an und für sich, nur überzieht sie die Oberflächen der Isolatoren, z. B. der Glasstäbe, mit Flüssigkeit, welche dann leitet, so dass feuchte Luft der gefährlichste Feind der isolierenden Fähigkeit aller Apparate ist.

§ 242. Das Gesetz, nach welchem Elektrizitätsmengen auf einander einwirken, ist von Coulomb mit Hülfe der Drehwaage

(§ 230) in derselben Weise festgestellt worden, wie für magnetische Massen. Kleine leitende Kugeln, welche sich am Ende von Schellackstäben befanden, wurden elektrisiert an Stelle der Magnetnadeln in die Wage gebracht. Durch Berührung mit einer gleichgrossen, unelektrischen Kugel konnte die Ladung auf  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  u. s. w. gebracht werden. Coulomb fand auch hier das Gesetz, dass die Kraft proportional beiden Elektrizitätsmassen, umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sei, also  $K = k \frac{Mm}{r^2}$ . Je nachdem beide Elektrizitätsmengen das gleiche oder verschiedene Vorzeichen haben, ist die Kraft eine Abstossung oder Anziehung; das positive Vorzeichen bedeutet daher Abstossung.

Mit Hülfe der Coulombschen Gleichung können wir eine Einheit der Elektrizitätsmenge nach absolutem Maß definieren. Der Faktor  $k$  hängt von der gewählten Einheit ab; wir nehmen diese so, dass  $k = 1$  wird. Dann ist diejenige Menge die Einheit, welche auf eine gleich grosse Menge im Abstand 1 cm die Kraft 1 (1 Dyne) ausübt.

Daraus folgt die Dimension:

$$\text{Elektrizitätsmenge} = [K^{1/2}L^{3/2}T^{-1}].$$

Man sagt, die nach dieser Einheit gemessene Elektrizität sei nach elektrostatischem Maß gemessen.

§ 243. Wir haben bei der Schwere (§ 60) und bei der Wirkung magnetischer Massen (§ 230) den Begriff des Potentials besprochen; derselbe gilt hier in unveränderter Weise, da das Gesetz für die Wirkung der Kraft das gleiche ist. Haben wir daher irgendwo die Menge  $m$  der Elektrizität, welche rings herum im Raume eine Kraft ausübt, so verstehen wir unter dem Potential einer Stelle dieses Raumes die Arbeit, welche nötig ist, um die Einheit der positiven Elektrizität bis zu dieser Stelle aus der Unendlichkeit heranzubringen. Das Potential der Erde nennt man 0: man kann daher auch sagen statt: aus der Unendlichkeit: von der Erde her.

Dass wir das Potential der Erde  $= 0$  setzen können, rührt daher, dass wir überhaupt nur Unterschiede der Potentiale beobachten und messen können, das Potential also nur bis auf eine Konstante bestimmen können, deren Wert für uns ohne Einfluss ist.

Wir legen nun allen Messungen den Zustand der Erde zu Grunde, vergleichen die Potentialdifferenzen gegen dieselbe, erhalten daher dieselben Differenzen der Körper unter einander, wie wir auch den Wert des Potentials der Erde nennen mögen.

Wir haben gesehen (§ 230), dass der Ausdruck für das Potential ist:  $\frac{m}{r} = P$ . Haben wir zwei Punkte,  $p$  und  $p_1$ , welche um die sehr kleine Strecke  $\rho$  entfernt sind, in welchen das Potential  $P$  und  $P_1$  ist, so nennt man  $\frac{P_1 - P}{\rho}$  das Potentialgefälle auf der Strecke  $\rho$  in der Richtung von  $P_1$  nach  $P$ . Es ist mit entgegengesetztem Vorzeichen gleich der Komponente der Kraft, welche die elektrische Einheit vom ersten zum zweiten Punkt zu treiben sucht; denn  $P_1 - P$  ist die Arbeit, die nötig ist, um die positive Einheit um  $\rho$  von  $P$  nach  $P_1$  zu verschieben, dieselbe ist aber gleich  $\rho$  mal der herrschenden Kraft, also letztere gleich  $\frac{P_1 - P}{\rho}$ .

Die Potentialdifferenz spielt bei den elektrischen Vorgängen dieselbe Rolle, wie bei der Hydrostatik der hydrostatische Druck infolge von Höhenunterschied zwischen Flüssigkeitsniveaus, oder auch wie der Temperaturunterschied in den Erscheinungen der Wärmeleitung und wir werden diese noch mehrfach zur Vergleichung benutzen können. Wie das Heraufschaffen von Wasser zu einem höheren Niveau Arbeit kostet, die potentielle Energie vermehrt, so kostet das Heraufschaffen von Elektrizität von einem Potentialniveau zu einem anderen Arbeit, und man spricht auch hier von höherem Potential an einer Stelle, wenn die Elektrizität von dort nach einer anderen abzufließen sucht.

Das Potential der Elektrizitätsmenge  $m$  ist im Abstände  $r$ :  $P = \frac{m}{r}$ , d. h. dies ist die Arbeit, welche zu leisten ist, um die Einheit der Elektrizitätsmenge von der Erde bis in die Entfernung  $r$  von  $m$  zu bringen. Sind verschiedene Massen  $m$  vorhanden, so wird das Potential oder die Arbeit  $P = \Sigma \frac{m}{r}$ ; wird nicht die Einheit, sondern die Menge  $M$  herangeführt, so ist dazu die Arbeit nötig:  $M \Sigma \frac{m}{r} = \Sigma \frac{Mm}{r} = MP$ .

Bei der Lehre von der Elektrizität ist noch eine besondere Art des Potentials von grosser Wichtigkeit, das sog. Potential

der Elektrizität auf sich selbst. Dasselbe misst die Arbeit, die zu leisten ist, wenn man eine bestimmte Elektrizitätsmenge  $M$  auf einen isolierten zunächst unelektrischen Leiter bringen will. Denken wir uns  $M$  in einzelne Teilchen  $m_0, m_1, m_2 \dots m_n$  zerlegt, die wir nach einander heranbringen. Für das Aufbringen des ersten Teilchens  $m_0$  ist keine Arbeit nötig, da noch keine Elektrizität auf dem Körper ist, die abstossend wirkte. Für jedes folgende Teilchen aber wird die Arbeit grösser, und für das letzte Teilchen  $m_n$ , welches schon gegen fast die ganze Masse  $M$  und deren Potential  $\frac{M}{r}$  heranzubringen ist, ist die Arbeit  $\frac{Mm_n}{r}$ . Wäre nun dauernd, wie beim ersten Teilchen, das Potential 0, so wäre die Gesamtarbeit:  $0 \cdot m_0 + 0 \cdot m_1 + 0 \cdot m_2 \dots + 0 \cdot m_n = 0$ . Wäre dagegen dauernd, wie beim letzten Teilchen, das Potential  $\frac{M}{r}$ , so wäre die Gesamtarbeit:

$$\frac{Mm_0}{r} + \frac{Mm_1}{r} \dots + \frac{Mm_n}{r} = \frac{M}{r} (m_0 + m_1 \dots + m_n) = \frac{M^2}{r}.$$

Es ist plausibel, dass wir den wirklichen Wert der Arbeit erhalten, wenn wir das arithmetische Mittel aus diesen Grenzwerten

nehmen, also  $\frac{0 + \frac{M^2}{r}}{2} = \frac{1}{2} \frac{M^2}{r}$ , und die höhere Rechnung zeigt, dass das richtig ist.

Die Grösse  $\frac{1}{2} \frac{M^2}{r}$  misst also die Arbeit, die verbraucht wird, wenn man z. B. auf eine isolierte Metallkugel vom Radius  $r$  die Elektrizitätsmenge  $M$  bringt; sie stellt daher auch die Energie des geladenen Körpers vor. (Vgl. § 252.)

§ 244. Auf dem Coulombschen Gesetze beruhen die Apparate zur Messung der Elektrizitätsmengen; es seien folgende genannt: Einer der einfachsten Apparate ist das Henleysche Elektrometer, welches bei der Elektrisiermaschine noch verwandt wird; auf den Konduktor A (Fig. 174) wird ein Draht B gesteckt, an welchem drehbar ein Draht befestigt ist, der sich vor einer Gradteilung drehen kann und an seinem Ende ein Kügelchen aus Hölzchen trägt. Dasselbe wird durch den Draht geladen und von B abgestossen, um so weiter, je höher das Potential oder, wie man es auch nennt, die Spannung in A ist.



Das absolute Elektrometer von W. Thomson besteht aus zwei horizontalen parallelen Metallscheiben; die obere hängt an einem Wagebalken. Die Platten werden geladen, und ihre Anziehung oder Abstossung kann durch aufgelegte Gewichte ausgeglichen werden und so die Kraft direkt in absolutem Maß bestimmt werden.

Die Quadrantelektrometer rühren ebenfalls von W. Thomson her und werden in vielen verschiedenen Formen gebaut. Sie bestehen aus einer flachen kreisrunden Metallschachtel, welche in vier Quadranten zerschnitten ist (Fig. 175 A). Je zwei gegenüber-

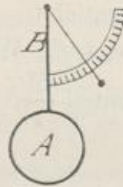


Fig. 174.

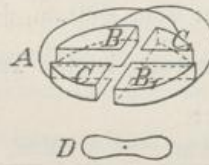


Fig. 175.

liegende Quadranten, B und B<sub>1</sub>, und C und C<sub>1</sub>, sind durch einen Draht leitend verbunden. Im Innern der Schachtel schwebt an einem dünnen Draht- oder Glasfaden ein biskuitförmiger Flügel D aus Aluminiumblech. Derselbe wird auf irgend eine Weise dauernd geladen, z. B. positiv, und mittelst des Aufhängdrahts so gestellt, dass er sich gerade unter einem Spalt zwischen den Quadranten befindet. Wird dann einem der Quadrantenpaare Elektrizität mitgeteilt, so wird der Flügel angezogen oder abgestossen, man misst die Drehung durch Spiegelablesung; sie ist für kleine Ablenkung dem Potential der mitgeteilten Elektrizität proportional.

§ 245. Schon Coulomb hat untersucht, wie stark die Elektrisierung bei Reibung verschiedener Körper an einander wird, und hat eine Reihe, die sog. Spannungsreihe, aufgestellt derart, dass stets der früher genannte Körper negativ elektrisch wird bei Reibung mit einem später genannten, der positiv wird. Eine solche Reihe ist folgende: — Schwefel, Seide, Harze, Metalle, Siegellack, Wachs, Holz, Papier, Federn, Wolle, Felle, Glas +. Je weiter zwei Körper in der Reihe aus einander stehen, desto stärker wird die Elektrisierung. Die Körper erweisen sich übrigens sehr variabel je nach der zufälligen Beschaffenheit ihrer Oberfläche.

§ 246. Bei den bisher besprochenen Erscheinungen hat sich die Wirkung der Elektrizität in einer Anziehung oder Abstossung der geladenen ponderablen Körper geltend gemacht. Es tritt aber gleichzeitig noch eine andere, die eigentlich fundamentale Wirkung auf, nämlich eine Bewegung, ein Fliessen der Elektrizität selbst. Man schreibt daher einem elektrisierten Körper zweierlei Kräfte zu, ponderomotorische und elektromotorische. Der Fundamentalversuch, der dies zeigt, ist folgender: Wir nehmen einen länglichen metallischen isoliert befestigten Leiter A; es seien in der Mitte und an den Enden je zwei Drähte mit kleinen Korkkugeln angehängt; der Leiter sei unelektrisch. Wir nähern ihn einem z. B. positiv geladenen Körper B, dann zeigt sich, dass die äusseren Kugelpaare sich sträuben (siehe Fig. 176), das mittlere dagegen

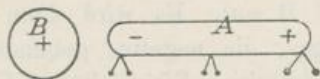


Fig. 176.

schlaff herunterhängt; sobald wir B entfernen, fallen auch die äusseren wieder zusammen, A ist unelektrisch wie vorher.

Das Sträuben der äusseren Paare beweist, dass hier Elektrizität vorhanden war, und wir erklären den Versuch so: Bei Annäherung von B wurden die in A vorhandenen gleichen Mengen von positiver und negativer Elektrizität, die bisher gemischt und daher nach aussen unwirksam waren, getrennt; die negative Elektrizität wird von dem positiven B angezogen, sammelt sich an dem B zugekehrten Ende, die positive Elektrizität wird möglichst weit abgestossen, geht nach dem anderen Ende. Die Enden von A erscheinen daher elektrisch, die Mitte unelektrisch. Sobald wir B entfernen, hört die scheidende Kraft auf, positive und negative Elektrizität in A ziehen sich an und vermischen sich wieder, der Körper ist unelektrisch.

Dass diese Erklärung richtig ist, können wir so erkennen: Wir nähern wieder B, die äusseren Paare sträuben sich; nun bringen wir A in Verbindung mit der Erde, die Paare fallen zusammen. Es wird nämlich die B gleichnamige Elektrizität, also in unserem Falle die positive, so weit wie möglich abgestossen, sie fliesst also zur Erde ab, die Enden werden unelektrisch. Lösen wir darauf die Verbindung mit der Erde, entfernen B, so zeigt sich, dass alle

drei Paare sich sträuben, A erweist sich negativ elektrisiert. Die vorher an dem B zugekehrten Ende befindliche negative Elektrizität wurde eben durch B angezogen und festgehalten, so dass sie nicht zur Erde abfloss, sobald aber B entfernt wird, verteilt sie sich über den ganzen Leiter, der sonach negativ elektrisch erscheint.

Man nennt diese elektromotorische Wirkung von B auf A, die Trennung der Elektrizitäten, elektrische Influenz. Die durch Influenz getrennten Elektrizitäten verhalten sich verschieden: nur die eine, die gleichnamige, hat das Bestreben abzufließen, die ungleichnamige aber wird festgehalten, sie ist gebundene Elektrizität.

Halten wir zwischen die geladene Kugel B und den Körper A einen Metallschirm C, der mit der Erde verbunden ist, so hört jede Wirkung von A auf B auf. Es wird dann nämlich auf C die Elektrizität geschieden, die negative gebunden, die positive zur Erde abgeleitet. Die positive Elektrizität auf B und die negative auf C binden sich nun gegenseitig, d. h. neutralisieren sich in ihrer Wirkung auf A hin vollständig. Umgeben wir B mit einer allseitig geschlossenen Metallhülle, die zur Erde abgeleitet ist, so verhält sich also dies System nach aussen, wie ein unelektrischer Körper; umgeben wir A mit einer ebensolchen Hülle, so wird A vor allen äusseren elektrischen Einflüssen geschützt, und man benutzt vielfach derartige Schutzhüllen, z. B. aus Drahtnetz.

§ 247. Es ist leicht einzusehen, dass die Influenz, die elektromotorische Wirkung, Ursache der ponderomotorischen ist. Wenn wir eine geriebene Glasstange einem Papierschnitzel nähern, so wird in demselben die negative Elektrizität an das benachbarte Ende gezogen, und nun ziehen sich die ungleichnamigen Elektrizitäten an, wodurch das Papierchen als Träger mit herangezogen wird. Ein Körper, der keine Elektrizität enthielte, würde nie angezogen werden, ebensowenig wie ein unmagnetisierbarer Körper von einem Magneten (§ 226).

§ 248. Auf Influenz beruht ein Apparat, der viel benutzt wird, um Elektrisierung und das Vorzeichen derselben zu erkennen, das Elektroskop: Durch den Deckel eines Glasgefässes geht ein Metallstab, an dessen unterem Ende zwei Streifen von Blattgold hängen, während am oberen Ende eine Metallkugel befestigt ist.

Der Kugel wird eine kleine Menge Elektrizität durch Berühren mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange mitgeteilt; dadurch sträuben sich die Goldblättchen. Es sei ihnen positive Elektrizität mitgeteilt. Nähert man einen positiv geladenen Körper dem Knopf, so wird durch Influenz in diesen negative Elektrizität hineingezogen, das gleiche Quantum positiver möglichst weit fort, d. h. in die Goldblättchen getrieben, die daher noch stärker divergieren. Bei Annäherung eines negativen Körpers dagegen vermindert sich ihre Divergenz.

Noch empfindlicher ist das sog. Bohnenbergersche Elektroskop (Fig. 178). In einem Gehäuse liegt eine sog. Zambonische Säule (§ 265), welche durch Drähte mit den Platten B und C verbunden ist, und dieselben dauernd ziemlich stark lädt, B positiv, C negativ. Dazwischen hängt unter einer Glasglocke ein Blatt-

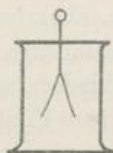


Fig. 177.

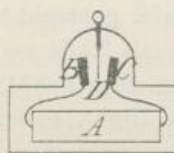


Fig. 178.

goldstreifen D an einem Metallstab mit Kugel. Nähert man dieser einen geladenen Körper, so wird wieder durch Influenz die gleichnamige Elektrizität in das Blattgold getrieben, welches daher je nach dem Vorzeichen der Ladung nach B oder C hin ausschlägt. Die grössere Empfindlichkeit dieses Instrumentes rührt davon her, dass hier ausser dem schwach geladenen Blattgold die stark geladenen Platten wirken, bei dem gewöhnlichen Elektroskop aber zwei schwach geladene Goldblätter.

§ 249. Wenn wir einen geladenen Körper mit einem isolierten ungeladenen metallisch verbinden, so fliesst von ersterem Elektrizität zum zweiten, und zwar so viel, bis auf beiden das Potential identisch ist; denn erst dann ist kein Potentialgefälle (§ 243), also keine Kraft vorhanden, welche die Elektrizität zu bewegen strebt. Es wird also in den zweiten Körper nur ein gewisses Quantum der Elektrizität des ersten überfließen. Durch Benutzung der Influenz und Bindung sind wir aber im stande, viel grössere Mengen von Elektrizität zu sammeln. Ein dazu dienender Apparat ist die

Franklinsche Tafel. Eine Glasplatte ist auf beiden Seiten mit Stanniol beklebt, doch so, dass die Stanniolblätter sich am Rande nicht berühren. Verbinden wir das eine Stanniolblatt nun z. B. mit einem positiv geladenen Körper K, so lädt es sich ebenfalls positiv. Im zweiten Stanniolblatt wird durch Influenz Elektrizität geschieden, die negative angezogen, die positive abgestossen. Wir denken uns jetzt die Verbindung zwischen K und Blatt 1 unterbrochen, dagegen 2 mit der Erde verbunden; dann fliesst von 2 die positive Elektrizität ab, während auf 1 die positive Elektrizität gebunden wird durch die negative von 2. Verbinden wir daher jetzt wieder K mit 1, so verhält es sich wie ein unelektrischer Körper, es fliesst von K so viel neue Elektrizität über, bis das Potential das gleiche ist. Dabei wird wieder 2 influenziert, bei Verbindung mit der Erde fliesst positive Elektrizität ab u. s. w. Man sieht leicht, dass so sehr grosse Quantitäten von Elektrizität auf beide Seiten der Franklinschen Tafel gebracht werden können, aber immer enthält 1 mehr Elektrizität als 2, da es ausser der gebundenen noch die von K nachgeflossene Elektrizität besitzt. Verbindet man die Seiten dann durch einen Draht, so findet unter starkem Funken und Knall ein Ueberströmen von einer Seite zur anderen, eine Verbindung beider Elektrizitäten, eine Entladung statt.

Gewöhnlich verwendet man die Sammelapparate in der bequemeren Form der Leidner Flasche; ein Glas ist aussen und innen mit Stanniol beklebt; darauf wird ein isolierender Deckel gesetzt, durch welchen ein oben mit Knopf versehener Draht bis auf den Boden reicht und hier die innere Belegung berührt. Durch diesen Draht wird beim Laden der inneren Belegung Elektrizität zugeführt, während die äussere mit der Erde in Verbindung ist.

Man kann eine ganze Anzahl Flaschen mit einander verbinden und erhält dadurch eine sog. elektrische Batterie; dabei kann man entweder je alle inneren und alle äusseren Belegungen mit einander verbinden. Dann wirken  $n$  Flaschen wie eine von  $n$ -facher Grösse. Oder man kann stets die innere Belegung der einen Flasche mit der äusseren der nächsten verbinden; dann erhält man zwischen den Endbelegungen die  $n$ -fache Potentialdifferenz einer Flasche, aber bei der Entladung nur die Elektrizitätsmenge einer Flasche. Diese Anordnung heisst Kaskadenbatterie.

Es ist noch ein Sammelapparat zu erwähnen, der Kondensator. Er besteht aus zwei kreisrunden Metallplatten, welche durch eine dünne isolierende Schicht, z. B. Lack oder Luft, getrennt

sind; die eine wird Kollektor-, die andere Kondensatorplatte genannt. Schraubt man die erstere statt der Kugel auf ein Elektroskop, setzt die zweite auf, berührt erstere mit dem Finger, während man mit der zweiten einen sehr schwach geladenen Körper in Verbindung bringt, so sammelt sich durch Bindung in der Kollektorplatte eine grosse Menge Elektrizität; hebt man dann die Kondensatorplatte ab, so wird die Elektrizität im Kollektor frei und wirkt auf das Elektroskop viel stärker, als es bei direkter Verbindung der Elektrizitätsquelle mit demselben der Fall gewesen wäre.

§ 250. Bei allen Sammelapparaten hängt die Menge  $e$  der gebundenen Elektrizität von folgenden Umständen ab: 1. von der Menge der bindenden Elektrizität  $E$ , sie ist dieser proportional, also  $e = kE$ , wo  $k$  ein echter Bruch ist; 2. vom Abstand der beiden Leiter und ihrer Gestalt; bei  $\infty$  ausgedehnten ebenen Flächen ist  $e$  umgekehrt proportional dem Abstand; 3. von der Natur der Zwischenschicht, welche  $k$  in obiger Gleichung bestimmt.

Daraus geht hervor, dass die Isolatoren nicht einfach durch Trennung der Leiter wirken — denn dann müssten sich alle gleich verhalten — sondern dass sie sich aktiv an der Fortleitung der Fernwirkung beteiligen. Faraday, welcher zuerst diese Verhältnisse studierte, nennt sie daher Dielektricum.

Den Quotienten aus der Elektrizitätsmenge, die sich bei Ladung zu derselben Potentialdifferenz auf einem Kondensator sammelt, wenn eine bestimmte Substanz die Zwischenschicht bildet, zu der Elektrizitätsmenge, die sich ansammelt, wenn Luft die Zwischenschicht bildet, nennt man nach Faraday das spezifische Induktionsvermögen oder die Dielektrizitätskonstante der Substanz.

§ 251. Es sind noch weitere Apparate zu nennen, bei welchen die Influenz eine wichtige Rolle spielt. Der Elektrophor besteht aus einer flachen Scheibe von Harz oder Ebonit, dem Kuchen, welche auf einer Metallplatte ruht und daher mit der Erde leitend verbunden ist. Durch Reiben mit einem Tierfell kann man ihn stark negativ elektrisch machen. Seine metallische Unterlage wird dabei durch Influenz positiv elektrisch, und beide Elektrizitäten halten sich fest, so dass der Kuchen sehr lange elektrisch bleibt. Legen wir eine andere an Seidenfäden hängende Metallplatte, den

Deckel, auf den Kuchen, so wird durch Influenz in ihm die Elektrizität geschieden, die negative Elektrizität abgestossen, so dass man sie durch Berührung entfernen kann. Der Deckel behält dann positive Elektrizität, welche nach Abheben mittelst der Seidenfäden frei wird, und einem beliebigen anderen Körper mitgeteilt werden kann. Man kann dies Auflegen, Berühren, Abheben des Deckels beliebig oft wiederholen, jedesmal enthält der Deckel positive Ladung.

§ 252. Wir gehen nun über zu der Frage, wo sich die Elektrizität in einem geladenen Körper befindet, und zwar zunächst, wenn derselbe ein Leiter ist.

Da gleichnamige Elektrizität sich abstösst, so ist es klar, dass bei einem Leiter, in welchem die Elektrizität sich frei bewegen kann, dieselbe sich nur auf der Oberfläche befindet, weil dann ihre Teilchen so weit wie möglich von einander getrennt sind. Die Elektrizitätsmenge, die sich auf der Flächeneinheit befindet, heisst die elektrische Dichte der Ladung.

Unter Oberflächenspannung versteht man eine dem Quadrat der Dichte proportionale Grösse. Sie stellt die Kraft dar, mit welcher die Elektrizität von der Oberfläche fortgetrieben wird; da jede Menge hierbei als abgestossene und als abstossende wirkt, ist es klar, dass diese Kraft dem Quadrat der Dichte proportional sein muss.

Die Dichte an verschiedenen Stellen einer Leiteroberfläche ist so beschaffen, dass überall die bewegende Kraft, das Potentialgefälle, in der Oberfläche Null oder das Potential auf der ganzen Oberfläche und im Innern des Körpers identisch ist (§ 243 und 249).

Bei einer Metallkugel wird dies der Fall sein, wenn die Dichte auf der ganzen Oberfläche konstant ist; bei einem verlängerten Rotationsellipsoid dagegen muss an den Enden der grossen Axe die Dichte zunehmen, weil diese Teile der Oberfläche weiter von der Mitte entfernt sind. Man übersieht leicht, dass je spitzer das Ellipsoid, desto grösser die Dichte wird, und man kommt so zu dem Resultat, dass, wenn wir an einem Leiter Spitzen anbringen, in diesen die Dichte ausserordentlich gross wird.

Das Potential  $P$  auf einem Körper ist der in ihm enthaltenen Elektrizitätsmenge  $M$  proportional (§ 243). Das Verhältnis  $\frac{M}{P} = K$  nennt man die Kapazität des Körpers. Für  $P = 1$  ist  $K = M$ ,

also können wir sagen: die Kapazität eines Körpers ist gleich der Elektrizitätsmenge, welche in ihm das Potential 1 erzeugt. Auf einer Kugel vom Radius  $r$  ist die Dichte überall dieselbe; das Potential ist  $P = \frac{M}{r}$ , also  $K = \frac{M}{P} = r$ , d. h. die Kapazität einer Kugel ist gleich ihrem Radius. Man erkennt daraus, dass die Dimension der Kapazität eine Länge ist,  $K = [L]$ . Das ergibt sich auch so:

$$K = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}} = \frac{[M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}]}{[M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}]} = [L].$$

Aus  $\frac{M}{P} = K$  folgt, dass wir das Potential der Elektrizität auf sich selbst (§ 243) für eine Kugel auch schreiben können

$$\frac{1}{2} \frac{M^2}{r} = \frac{1}{2} \frac{M^2}{K} = \frac{1}{2} P^2 K = \frac{1}{2} P M.$$

§ 253. Der Umstand, dass in Spitzen die Dichte der Elektrizität so gross wird, wird vielfach benutzt. Eine Folge davon ist nämlich, dass die Spitzen die Elektrizität entladen; in Folge der grossen Dichte ist die Abstossungskraft normal zur Oberfläche, die Oberflächenspannung, ausserordentlich gross; kleine Staubteilchen, die stets in der Luft schweben, werden angezogen, geladen, dann sehr kräftig abgestossen. Es entsteht dadurch ein förmlicher Wind, der elektrische Wind, welcher von einer stark geladenen Spitze ausgeht, und z. B. im Stande ist, ein Licht auszublasen.

Wie die Spitze einen mit ihr verbundenen Körper entladen kann, so kann sie, mit der Erde leitend verbunden und einem geladenen Körper gegenübergestellt, auch diesen entladen. Das beruht auf Influenz; denken wir uns einen positiv elektrischen Körper, ihm gegenüber die Spitze; durch Influenz wird in sie negative Elektrizität gezogen, sie strömt aus und neutralisiert die positive Elektrizität des Körpers; so viel negative Elektrizität aus der Spitze ausströmt, so viel positive Elektrizität fliesst aber gleichzeitig nach der Erde. Die Wirkung in der Erdleitung ist also ganz dieselbe, als ob wir den positiv elektrischen Körper direkt berührt hätten. Man nennt daher solche Spitzen: Saugspitzen.

Ebenso wie Spitzen wirken Flammen: mit einem geladenen Körper leitend verbunden, oder unter ihn gestellt, entladen sie ihn; es hat sich gezeigt, dass die von einer Flamme aufsteigenden



Gase bis zu einem gewissen Grade leitend geworden sind (vgl. § 456).

Wir können nun auch den Zweck der (§ 240) beschriebenen Konstruktion der Elektrisiermaschine erkennen. Als Reibzeug und geriebener Körper sind zwei möglichst weit in der Spannungsreihe (§ 245) aus einander stehende Substanzen gewählt, von welchen die eine, das Reibzeug, Leiter sein muss, damit sich nicht die negative Elektrizität ansammelt und schliesslich auf die Glasplatte übergeht. — Die positive Glasplatte bewegt sich zunächst zwischen Seidenzeug, welches dabei auch negativ wird und daher die positive Elektrizität des Glases bindet. Wo das Glas aus der Seide heraustritt, die positive Elektrizität wieder frei wird, ist es von Saugspitzen umgeben. Durch Influenz wird positive Elektrizität in den Konduktor getrieben, negative Elektrizität strömt aus den Spitzen und entlädt die Glasscheiben.

§ 254. Während bei Leitern die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche befindet, dringt sie bei Isolatoren auch in das Innere ein, ohne dass wir jedoch über die Verbreitung Näheres wüssten. Folgende Erscheinungen sind hier zu erwähnen: Wenn man eine Leidner Flasche durch kurz andauernde metallische Verbindung beider Belegungen entladen hat, und stellt nach einiger Zeit von neuem Verbindung her, so erhält man einen zweiten schwächeren Funken, ebenso nach Pausen einen dritten, vierten u. s. w. Man bezeichnet dies als elektrischen Rückstand. Zur Erklärung nimmt man an, die Elektrizität dringe ganz langsam von beiden Seiten in das Glas ein unter dem Einfluss der Oberflächenspannung; ist diese aber durch die Entladung beseitigt, so komme die Elektrizität langsam wieder zurück an die Oberfläche.

Eine andere Erscheinung, welche die Bewegung der Elektrizität im Isolator, gleichzeitig eine Verschiedenheit der positiven und negativen Elektrizität zeigt, sind die Lichtenbergschen Figuren: Lässt man von einer Leidner Flasche stärkere Funken nach einer Harzplatte oder Ebonitplatte überspringen, streut dann Pulver von Mennige, Schwefel, Siegellak oder dgl. auf, so haftet dies an den elektrischen Stellen, bezeichnet die Wege, auf welchen die Elektrizität sich verteilt hat. Dabei gibt die negative Elektrizität rundliche wolkige Figuren, die positive strahlig verzweigte Sterne.

§ 255. Auch auf Isolatoren wird die Wirkung der Influenz sichtbar, und darauf beruhen die neueren, weit wirksameren In-

fluenzelektrifiermaschinen; es gibt verschiedene Konstruktionen derselben, wir wollen hier nur die erste, von Holz, besprechen, da die anderen von Töpler, Kundt, Voss, Wimshurst nichts wesentlich Neues bieten. Die Einrichtung der Holz'schen Maschine zeigt Fig. 179: Eine kreisrunde Glasscheibe  $K$  ist fest senkrecht aufgestellt, indem sie von 4 Knöpfen  $b$  gehalten wird; eine zweite, etwas kleinere Glasscheibe  $g$  sitzt an einer die erste Scheibe durchdringenden Axe und lässt sich durch Kurbel  $A$  und Schnurlauf  $C$  in schnelle Rotation versetzen im Sinne des Pfeils; die feste Scheibe hat zwei Ausschnitte,  $a$  und  $a_1$ , auf ihre Rück-

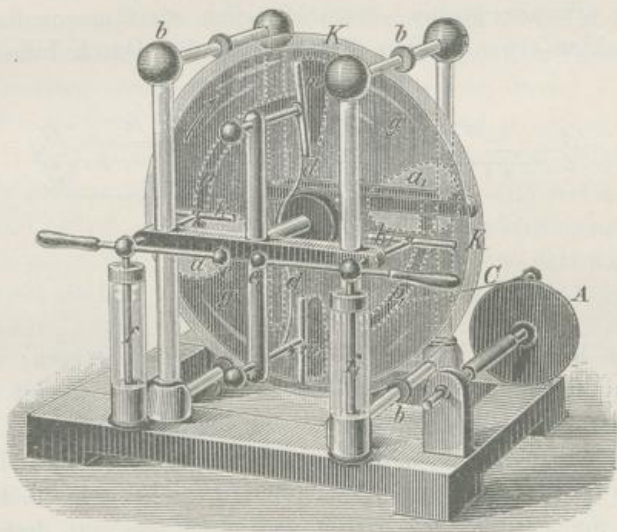


Fig. 179.

seite sind zwei Papierstücke  $p$  und  $p_1$  geklebt, von welchen noch Papierspitzen  $s$  und  $s_1$  (nur diese ist in der Figur sichtbar) in die Oeffnungen ragen und der rotierenden Scheibe zugebogen sind. Dem einen Rande der Ausschnitte gegenüber, diesseits von der rotierenden Scheibe, befinden sich Spitzenkämme  $k$  und  $k_1$ , welche durch metallische Leitung zu den Konduktorkugeln  $e$  und  $e_1$  führen;  $e$  und  $e_1$  lassen sich einander nähern bis zur Berührung, oder entfernen; die Konduktoren sind in der Figur noch verbunden mit den inneren Belegungen zweier Leidner Flaschen  $f$  und  $f_1$ , deren äussere Belegungen unterhalb des Fussbrettes auch leitend verbunden sind. Endlich sieht man noch zwei Spitzenkämme  $m$  und  $m_1$ , die den

anderen Enden der Papierstreifen  $p$  und  $p_1$  gegenüber liegen und durch den sog. Hilfskonduktor  $d$  leitend verbunden sind.

Die Wirkung der Maschine lässt sich klar machen an der Fig. 180. Es ist hier der Umfang der festen Scheibe in eine Linie ausgestreckt gedacht,  $AB$ ; wir verfolgen eine Stelle der rotierenden Scheibe, welche sich am ganzen Umfange  $AB$  vorbeidreht, in der Figur die Linie  $CD$  beschreibt.

Wenn wir irgend ein System von Körpern haben, so wird es sehr selten vorkommen, dass dasselbe in absolutem elektrischem Gleichgewicht ist, d. h. dass alle Teile genau ebenso viel oder wenig elektrisiert sind. Wir wollen annehmen, das Papierchen  $p$  sei ganz schwach positiv, eventuell teilen wir ihm vor Benutzung der Maschine etwas positive Elektrizität mit. Durch Influenz wird

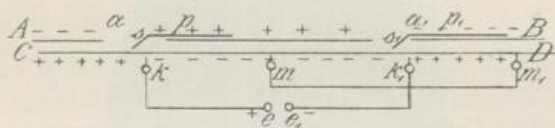


Fig. 180.

aus dem Kamm  $k$  negative Elektrizität herausgezogen; sie geht auf die rotierende Scheibe über, während die gleiche Menge positiver Elektrizität nach dem Konduktor  $e$  getrieben wird.

Mit der rotierenden Scheibe wird die negative Elektrizität fortbewegt; sie wird hier noch festgehalten dadurch, dass auf der festen Scheibe die positive Elektrizität sich besonders auf dem Papierstreifen, aber auch noch weiter auf dem Glase verbreitet, beide Scheiben also einen Kondensator bilden.

Nun kommt die rotierende Scheibe vor den Ausschnitt  $a_1$ ; die bisher gebundene negative Elektrizität wird frei; durch Influenzwirkung auf die Papierspitze  $s_1$  wird aus dieser positive Elektrizität herausgezogen, sie und das ganze Papier  $p_1$  werden negativ elektrisch, während die rotierende Scheibe neutral wird. — Die Scheibe tritt jetzt vor den Kamm  $k$ ; aus ihm wird durch Influenzwirkung von  $p_1$  positive Elektrizität auf die Glasscheibe gezogen, während  $e_1$  die gleiche Menge negativer Elektrizität erhält. Die Scheibe geht geladen weiter, hat jetzt einen Umlauf gemacht, kommt zum zweitenmal von  $C$  her nach  $a$ ; sie ist positiv geladen, zieht aus  $s$  etwas negative Elektrizität, macht daher  $p$  stärker positiv. Unter  $k$  lädt

sie sich selbst negativ, kommt an  $a_1$ , zieht aus  $s_1$  positive Elektrizität, macht also  $p_1$  stärker negativ u. s. w.

Die Maschine verstärkt also bei ursprünglich ganz schwacher Ladung diese selbst, und man erhält einen kräftigen Funkenstrom zwischen  $e$  und  $e_1$ . Die Leidner Flaschen haben die Wirkung, dass die Funken weniger zahlreich, aber kräftiger werden, indem durch die zuströmende Elektrizität zunächst die Flaschen geladen werden, bis sie sich zwischen  $e$  und  $e_1$  entladen. Der Hilfskonduktor  $m$   $m_1$  hat folgenden Zweck: Zieht man bei rotierender Scheibe  $e$  und  $e_1$  immer weiter aus einander, um längere Funken zu erhalten, so kommt ein Moment, wo die zuströmende Elektrizität nicht genügende Spannung besitzt, um überzuspringen. Dann strömt sie leicht nach der rotierenden Scheibe zurück, und diese wird nach dem Passieren von  $k$  nicht negativ, sondern positiv elektrisch, ebenso hinter  $k_1$  negativ elektrisch; dadurch würden dann auch  $p_1$  und  $p$  entgegengesetzt geladen, kurz wenn man  $e$  und  $e_1$  wieder zusammenschiebt, wird  $e$  negativ geladen,  $e_1$  positiv. Diese Umladung verhindert der Hilfskonduktor, indem er den etwa zur Scheibe zurückströmenden Elektrizitäten einen Weg zur Ausgleichung darbietet, so dass die Scheibe unelektrisch nach  $a_1$  und  $a$  gelangt, also regelmässig weiter funktionieren kann.

§ 256. Wir haben schon wiederholt von der Entladung elektrisirter Körper gesprochen; wir müssen nun näher auf die verschiedenen Arten der Entladung eingehen.

Haben wir einen ausgedehnten Leiter, dessen eines Ende wir etwa laden, so fliesst die Elektrizität ungehindert durch den ganzen Leiter, und ist das andere Ende etwa mit der Erde verbunden, so geht die Entladung ausserordentlich schnell, aber zunächst ohne äussere merkbare Kennzeichen vor sich. Man hat früher vielfach versucht, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in Drähten zu bestimmen, und hat auch bestimmte Zahlen dafür erhalten, welche aber von einem Leiter zum anderen ausserordentlich stark variierten. In neuerer Zeit hat man erkannt, dass von einer eigentlichen Geschwindigkeit dabei keine Rede sein kann, dass man ganz andere Grössen auf diese Weise misst. Wenn wir nämlich einem Ende des Leiters Elektrizität zuführen, und sie soll weiter fliessen, so muss eine Potentialdifferenz gegen benachbarte Stellen vorhanden sein. Das Entstehen eines Potentials an einer Stelle kann aber durch Bindung der Elektrizität verzögert werden; denken wir uns

ein Stück des Leiters gebildet durch eine Platte eines Kondensators, während die andere Platte desselben zur Erde abgeleitet ist, so erkennen wir, dass eine ganze Menge Elektrizität einfließen kann, ohne dass das Potential einen messbaren Wert erhält; erst wenn der Kondensator geladen ist, fließt die Elektrizität weiter. Ähnliches gilt von jedem Leiter, welcher mit der umgebenden Luft oder dem sonstigen Dielektricum eine Art Kondensator bildet. Wir messen daher die Geschwindigkeit, mit welcher die Ladung fortschreitet, und diese ist ganz verschieden, wenn wir Drähte von verschiedener Beschaffenheit, oder denselben Draht einmal in Luft, ein andermal, mit Guttapercha umgeben, in Wasser haben. — Die Geschwindigkeit, welche man so in metallischer Leitung beobachtet hat, ist sehr gross, über  $100\,000 \frac{km}{sec}$ ; sie wird kleiner, wenn man mangelhafte Leiter, z. B. feuchte Schnüre benutzt.

Eine sehr eigentümliche Art der Entladung kommt zu stande, wenn man stark geladene Körper, z. B. die Belegungen einer Leidner Flasche, durch gute Leitung verbindet. Dann tritt oscillierende Entladung auf, d. h. von der positiven Belegung fließt mehr positive Elektrizität zur negativen Belegung über, als nötig ist, um dieselbe zu neutralisieren, so dass sich diese nun positiv lädt. Dann fließt der Ueberschuss zurück, aber wieder zu viel u. s. w., so dass die Elektrizität mehrfach hin und her fließt. Wir können diesen Fall mit folgendem vergleichen: Es seien zwei Gefässe A und B durch eine weite Röhre mit Hahn C verbunden, A bis oben mit Wasser gefüllt, B leer. Oeffnen wir den Hahn, so strömt das Wasser nach B über, aber infolge der Trägheit hört das Strömen nicht auf, wenn in A und B der gleiche Druck erreicht ist, sondern es strömt mehr über; daher kehrt sich nach kurzer Zeit die Bewegung um, Flüssigkeit strömt von B nach A u. s. w. So kommt erst nach längerem Schwanken Gleichgewicht zu stande. — Hier ist Trägheit der Grund der Oscillationen; wir können daher annehmen, dass auch die Elektrizität Trägheit besitze. Zahl und Dauer der Oscillationen hängen von der Schliessung und der Kapazität ab, doch ist der ganze Vorgang in  $0,00001$  bis  $0,0001 \text{ sec}$  beendigt. Die Erscheinung ist namentlich von Feddersen studiert worden, indem er die Leitung an einer Stelle unterbrach und den hier entstehenden Funken mittelst eines rotierenden Spiegels aus einander gezogen photographierte, wobei sich eben zeigte, dass eine ganze Reihe von Funken in der einen und anderen Richtung übergeht.

§ 257. Ist ein geladener Körper von einem Dielektricum umgeben, so kann die Elektrizität sich nicht auf so ruhige Weise entfernen, wie es durch einen Leiter möglich ist. Es sind hier zwei Arten der Entladung möglich; diejenige durch Spitzen, die Glimmentladung, welche wir schon besprochen haben (§ 252), und die disruptive Entladung durch Funken.

Der Versuch zeigt nämlich, dass die Isolatoren den Durchgang der Elektrizität nicht absolut verhindern, sondern nur bis zu einer gewissen Spannung derselben, wird aber die Dichte oder Potentialdifferenz zu gross, so tritt eine Durchbrechung des Isolators ein, indem ein Funke nach einem benachbarten Leiter übergeht. Die erforderliche Spannung ist desto grösser, je dicker die zu durchbrechende Schicht des Isolators ist. Wir können mit den Laboratoriumsmitteln Glasplatten von 10 *cm* durchbohren, in der Luft Funken von über 1 *m* Länge erhalten, während die Natur uns in den Blitzen Funken von mehreren Kilometern Länge zeigt. In Luft ist die Schlagweite der elektrischen Dichte etwa proportional. Verdünnen wir die Luft, so wächst die Schlagweite, und in Röhren, die mit Gasen gefüllt sind, deren Druck nur einige Millimeter beträgt, steigt die Schlagweite bis zu vielen Metern.

Die disruptiven Entladungen bringen eine ganze Reihe wichtiger Wirkungen hervor:

1. Mechanische Wirkungen: Die Durchbohrung fester Isolatoren ist schon erwähnt. Von den Leitern, von welchen die Funken ausgehen, werden kleinste Teilchen losgerissen und im Funken fortgeführt; lässt man z. B. Funken zwischen Kupfer und Platin überspringen, so finden sich auf dem Platin Kupferteilchen und umgekehrt.

2. Chemische Wirkungen: Gase können durch Funken entweder zersetzt werden, z. B.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , oder sie verbinden sich, z. B. H und O zu  $\text{H}_2\text{O}$ ; dies wird in der Chemie viel benutzt in den Eudiometern. Zu den chemischen Wirkungen gehört auch die Umwandlung von Sauerstoff in Ozon; entzieht man einer Maschine eine ganze Anzahl von Funken, so wird ein eigentümlicher Geruch bemerkbar, der von dem aus der Luft gebildeten Ozon, einer Modifikation des Sauerstoffs, herrührt.

3. Polare chemische Zersetzungen von Verbindungen: Der säuernde Bestandteil scheidet sich an der Stelle des Leiters aus, wo die positive Elektrizität austritt, der basische Bestandteil

an dem negativ geladenen Leiter. Auf diese Erscheinungen kommen wir später ausführlich zurück (§§ 289 u. ff.).

4. Physiologische Wirkungen auf die Nerven und Muskeln von Menschen und Tieren: Man spricht von elektrischen Schlägen. Bei starken Schlägen von Leidner Batterien können Lähmungen und Tod eintreten.

5. Wärmewirkungen: Leicht entzündliche Körper, wie Leuchtgas, Aether u. s. w., werden durch Funken entzündet. Auch wenn die Entladung nicht disruptiv ist, sondern durch Leiter, Drähte, geht, erhitzen sich diese, so dass sie glühend werden und schmelzen können. Die genauesten Untersuchungen hat Riess mit seinem elektrischen Thermometer ausgeführt; dies ist ein sehr empfindliches Luftthermometer, durch dessen Kugel der Draht geht durch welchen die Entladung geführt wird. Riess fand die Erwärmung proportional dem Quadrat der Elektrizitätsmenge, umgekehrt der Oberfläche des Sammelapparates, also proportional der Dichte oder dem Potential der Elektrizität und ihrer Menge, also proportional der Arbeit, die zum Laden verbraucht war (§ 243).

6. Lichtwirkungen: Dieselben sind zum Teil Folge der Wärmewirkung. So werden in der Bahn des Funkens die Gase so stark erhitzt, dass sie glühend werden, und auch die von den Leitern losgerissenen Teilchen werden in glühenden Dampf verwandelt. Das Spektrum des Funkens (§ 378) zeigt daher die Linien des Metalls und der Gase. Besonders wichtig und eigentümlich ist die Wirkung in verdünnten Gasen, welche wir später ausführlicher besprechen wollen (§ 323). Hier sei nur erwähnt, dass dabei die Gase leuchten können ohne Temperaturerhöhung, also auch eine direkte Wirkung der Elektrizität auf den Lichtäther anzunehmen ist.

Zu erwähnen ist noch, dass bei starken Entladungen, bei welchen gleichzeitig ganze Büschel von Funken übergehen, der positive Pol sich anders verhält, als der negative; von ersterem gehen von verschiedenen Stellen die Funkenbahnen divergent aus, vereinigen sich kurz vor dem negativen Pol, der also nur an einer Stelle getroffen wird.

§ 258. Ganz dieselben Erscheinungen, welche wir mit den stärksten Elektrisiermaschinen hervorbringen können, zeigt uns in grossartigem Maßstabe die Natur bei den Gewittern.

Die atmosphärische Luft erweist sich stets elektrisch in verschieden starkem Grade, und zwar meist positiv elektrisch, wogegen die Erde selbst negativ elektrisch erscheint. Woher diese Elektrisierung stammt, ist noch nicht festgestellt, obgleich zahlreiche verschiedene Vermutungen ausgesprochen sind: chemische Prozesse, namentlich Oxydation, die Reibung des Meeres an den Küsten, die Verdampfung des Wassers u. s. w. sollten die Quelle sein. Nach einer neueren Annahme von Sohnke haben wir die Quelle in der Atmosphäre selbst zu suchen: die Reibung von Wasser an Eis. Ein Teil der Wolken, die hochgehenden Cirruswolken, bestehen aus Eisnadeln, die Cumuluswolken aus Wasser; ihre Vermischung soll die Elektrizität bedingen. Nach Elster und Geitel soll die Bestrahlung durch das Sonnenlicht die Ursache sein (§ 456).

Die atmosphärische Elektrizität lässt sich nachweisen, indem man z. B. an einer langen Stange eine Metallspitze befestigt, welche durch einen Draht mit dem Elektrometer verbunden ist. Durch Influenz wird dann die negative Elektrizität aus dem Draht gezogen, er bleibt positiv, was das Elektrometer anzeigt.

Während die Elektrisierung meist sehr schwach ist, wird sie zu Zeiten in dichten Wolken sehr gross; durch Influenz kann sich dann auch in benachbarten Wolken oder auf der Erde die ungleichnamige Elektrizität stark ansammeln. Der Ausgleich geschieht dann durch den Blitz. Die Luft wird dabei gewaltig erschüttert, es entstehen Schallwellen, der Donner, ähnlich wie durch die Geschützkugel oder die Peitschenschnur ein Knall entsteht. Es sind Blitze von 12000 *m* Länge beobachtet; sie bringen alle Wirkungen hervor, die wir an den Funken kennen. Isolatoren werden durchbohrt und zertrümmert, Leiter geschmolzen, es entsteht Feuer, Menschen und Tiere werden gelähmt oder getötet. — Die Blitze verlaufen meist in sehr kurzer Zeit und sind so hell, dass das Auge ihre Gestalt nicht richtig aufzufassen vermag; erst seitdem man sie photographiert, kennt man sie etwas besser. Es hat sich gezeigt, dass die meisten Strahlen stark verzweigt sind, sich baumartig verästeln, die Erde gleichzeitig durch einen Blitz an vielen Stellen getroffen wird, kurz, dass gleich ein grosses Gebiet entladen wird. Auch oscillierende Entladungen sind beobachtet worden.

Zum Schutz gegen Blitze hat man nach dem Vorgange Franklins (1753) Blitzableiter angelegt. Ihr Hauptzweck ist, den Blitz zu verhindern, erst Nebenzweck, ihm einen unschädlichen Weg zu geben, falls er doch zu stande kommt. Das wird durch



Spitzenwirkung erreicht: der Boden und alle grösseren Metallmassen des Hauses werden durch ein gut leitendes Kupfertau mit einer auf dem Dache befindlichen scharfen Spitze verbunden. Aus ihr strömt die negative Influenzelektrizität aus, entlädt gleichzeitig das Haus und die darüber ziehende Wolke, wodurch die Spannung so verringert werden soll, dass der Blitz nicht mehr überschlagen kann. Dazu muss die Spitze scharf sein; man stellt sie aus Platin oder Gold her, damit sie nicht rostet; ferner muss mit dem Erdboden gut leitende Verbindung da sein; man lötet daher das Tau an eine grössere Metallplatte, welche an einer feuchten Stelle in den Erdboden eingegraben wird, in das Grundwasser, den Brunnen oder dgl. Ist aber die Entladung durch die Spitze doch nicht genügend, schlägt der Blitz ein, so sucht er sich den bequemsten Weg, die metallische Leitung. Das Tau muss daher so stark sein, dass es sich nicht zu sehr erhitzt.

Eine mit der atmosphärischen Elektrizität wahrscheinlich zusammenhängende Erscheinung ist das Nordlicht: in hohen Breiten zeigen sich weiss oder meist rot leuchtende Lichtbogen, welche sich eigentümlich bewegen, so als ob leuchtende faltige Tücher bewegt würden. Es scheint, als ob wir es hier mit elektrischen Entladungen in hohen und daher dünnen Schichten der Atmosphäre zu thun hätten; doch ist die Erscheinung keineswegs aufgeklärt.

§ 259. Es sind noch einige andere Quellen der Elektrizität ausser der Reibung fester Körper zu erwähnen. Zunächst kann auch durch Reibung von Dämpfen an festen Körpern Elektrizität erzeugt werden. Dies geschieht z. B. bei der Hydroelektrismaschine von Armstrong: aus einem Dampfkessel strömt durch hölzerne Mundstücke Dampf gegen den Spitzenkamm eines Konduktors. Das Mundstück ist so eingerichtet, dass der Dampf sich stark reibt; je nach der Natur des Mundstücks wird der Dampf und Konduktor positiv oder negativ, während der Kessel die ungleichnamige Elektrizität erhält.

In ähnlicher Weise entsteht Elektrizität beim Auslassen der im Handel befindlichen flüssigen Kohlensäure aus den eisernen Flaschen.

Viele Krystalle, z. B. Quarz, Turmalin, Topas u. s. w., zeigen die Eigenschaft, während Temperaturänderung elektrisch zu sein. Diese Elektrizität hat man Pyroelektrizität genannt. Es sind dabei nur einzelne Punkte oder Linien, namentlich die

Kanten, deutlich elektrisch, und zwar beim Erwärmen entgegengesetzt als beim Abkühlen. Eine Stelle, welche beim Erwärmen positiv, bei Abkühlung negativ elektrisch wird, nennt man analogen Pol, die, welche beim Erwärmen negativ wird, antilogen Pol. Ein genaueres Studium der Elektrizitätsverteilung ist durch die Methode von Kundt ermöglicht: Er streut durch ein Sieb ein Gemisch von Mennige und Schwefelpulver auf den Krystall; durch die Reibung werden die Pulver entgegengesetzt elektrisch, Schwefel negativ, Mennige positiv, und zeichnen daher die positiven und negativen Stellen des Krystalls rot und gelb.

Endlich sei noch erwähnt, dass eine ganze Anzahl Fische in ihrem Körper Elektrizität erzeugen — auf welche Weise ist unbekannt. Sie besitzen eigentümliche Organe, aus vielen Zellen bestehend und wie eine Leidner Batterie wirkend. Berührt man Kopf und Schwanz, so erhält man einen kräftigen Schlag; eigentümlich ist dabei, dass derselbe nicht immer erfolgt, sondern nur, wenn der Fisch will, wenn er die Berührung merkt und sich dagegen wehrt.

Weitere Arten der Elektrizitätserzeugung, nämlich durch Berührung verschiedener Körper oder auch verschieden warmer Teile derselben, und durch chemische Prozesse, werden weiterhin ausführlich zu behandeln sein.

§ 260. Wir haben besprochen, dass die Zuführung von Elektrizität zu einem Punkte, die Ladung eines Körpers, Arbeit erfordert, indem die Abstossung des ersten, auf dem Körper befindlichen Teilchens gegen die folgenden zu überwinden ist, und dass diese Arbeit gemessen wird durch das Potential der Elektrizität auf sich selbst (§ 242). Der geladene Körper besitzt also einen Energievorrat; wenn wir ihn dann durch einen Draht mit der Erde verbinden, so fließt die Elektrizität ab, das Potential im Körper verschwindet, und wir würden einen Widerspruch gegen das Gesetz von der Erhaltung der Energie haben, wenn dafür nicht etwas anderes aufträte. Das ist aber der Fall, wie wir bei Besprechung der Entladungswirkungen gesehen haben (§ 257).

Wir haben namentlich gefunden, dass stets Wärme auftritt, welche wir schon als Form der Energie kennen, und dass nach den Versuchen von Riess die entstehende Wärme dem verschwindenden Potential und der Elektrizitätsmenge proportional ist. Wir können somit vermuten — und Messungen bestätigen es —, dass

auch hier das Gesetz von der Erhaltung der Energie streng gültig ist. Wenn wir mittelst der Elektrisiermaschine eine Leidner Flasche laden, diese dann wieder entladen, so haben wir zum Drehen der Maschine Arbeit verbraucht, welche sich zunächst wiederfindet in Erwärmung der Maschinenteile durch Reibung und in dem Potential der Leidner Flasche, welches bei Entladung dann auch noch in Wärme verwandelt wird. Als verschiedene Formen der Energie kennen wir somit jetzt: potentielle Energie, kinetische Energie, Wärme, Potential; damit ist auch die Reihe der möglichen Formen erschöpft; alle sind in einander beliebig verwandelbar, aber die Summe der Energie bleibt konstant.

§ 261. Wir wollen schliesslich die Anschauungen von Faraday und Maxwell über die elektrischen Erscheinungen kurz auseinandersetzen.

Nach der älteren Auffassung, der wir bisher in der Ausdrucksweise allein gefolgt sind, hat die Elektrizität ihren Sitz in den Leitern, während die Isolatoren, die Dielektrica, nur das Abfliessen von ersteren verhindern, nicht selbst elektrisierbar sind. Die Wirkung von einem Leiter auf den anderen ist dabei eine Fernwirkung, die nicht von Teilchen zu Teilchen vermittelt wird.

Nach Faradays Auffassung dagegen sind gerade die Dielektrica Träger der Elektrizitätswirkung, welche sich in ihnen von Teilchen zu Teilchen fortpflanzt. Wir haben gesehen, dass um einen elektrisierten Körper Niveauflächen existieren, auf welchen überall senkrecht Kraftlinien stehen. Bei jedem Leiter ist die Oberfläche eine Niveaufläche oder Fläche gleichen Potentials, von ihr gehen nach allen Richtungen die Kraftlinien aus, um im Unendlichen oder an einem anderen Leiter zu endigen; dazwischen befinden sie sich im Dielektricum. Faraday nimmt nun an, dass die kleinsten Teilchen desselben von der elektrischen Kraft beeinflusst werden, dass in ihnen in Richtung der Kraftlinien die Elektrizität verschoben wird, wodurch ihr eines Ende negativ, das andere positiv elektrisch erscheint. Diesen Zustand bezeichnet er als eine dielektrische Polarisation. Das Dielektricum unter dem Einfluss einer elektrischen Kraft befindet sich daher in einem ähnlichen Zustande, wie ein magnetischer Stahlstab, der auch lauter gleich gerichtete polare Teilchen besitzt (§ 228). Da im ganzen Innern stets zwei ungleichnamige Pole sich berühren, ist nach aussen keine Wirkung vorhanden, wohl aber an den Enden des Dielektri-

cum, wo es Leiter berührt; da äussert sich die Elektrizität frei, und wir fassen sie als Elektrisierung der Leiteroberfläche auf.

In einem polarisierten Dielektricum liegen je zwei Teilchen in der Kraftlinie mit ungleichnamigen Polen gegen einander, sie müssen sich anziehen, die Kraftlinie muss streben, sich zu verkürzen, es findet ein Zug in Richtung der Kraftlinien statt; dagegen suchen in den dazu senkrechten Richtungen die Teilchen sich zu entfernen. Erscheinungen, welche diese Auffassung zu bestätigen scheinen, werden wir in der Optik kennen lernen (§ 455). Diese Spannung, welche ganz analog einer elastischen Spannung ist, so dass Maxwell von elektrischer Elastizität spricht, ist der wirkenden Kraft proportional und hört mit ihr auf. Der Unterschied zwischen Dielektricum und Leiter besteht nach Faraday darin, dass nur die ersteren dieser Spannung, also der eigentlichen Elektrisierung fähig sind, die letzteren dagegen nicht, sondern sofort der schwächsten Spannung nachgeben.

Was nun eigentlich die Elektrizität sei, was in den Teilchen verschoben wird, darüber hat weder Faraday noch Maxwell eine bestimmte Behauptung ausgesprochen, wohl aber vermutet, dass es der Lichtäther sei. Wir werden bei der Optik sehen, dass wir für die optischen Erscheinungen annehmen müssen, ein Stoff, den man Lichtäther nennt, sei überall da verbreitet, wo gerade kein ponderables Molekel liegt. Er soll auch der Träger der elektrischen Erscheinungen sein, und diese Hypothese hat gerade in den letzten Jahren ausserordentlich an Wahrscheinlichkeit gewonnen, indem man zahlreiche Wechselwirkungen von Elektrizität auf Licht und umgekehrt kennen gelernt hat. Wir kommen darauf später zurück.

## B. Elektrizität in Bewegung.

### a) Der galvanische Strom.

§ 262. Bei den bisher besprochenen elektrischen Erscheinungen hatten wir es durchweg mit einer sehr kleinen Elektrizitätsmenge zu thun, welche aber auf engen Raum gebracht ist und daher grosse Energie besitzt. Sie entspricht einer kleinen Menge Wasser unter hohem Druck. Wir sind aber auch im stande, grosse Elektrizitätsmengen von kleiner Energie hervorzubringen, und zwar verdanken wir diese Möglichkeit einer zufälligen Beobachtung.