

mit einer Schneeflocke wird die plötzliche Erstarrung der überschmolzenen Wasserteilchen veranlaßt, und dieselben überziehen in kurzer Zeit das durch die Wolke herabfallende Korn mit einer schalenförmig geschichteten Eishülle von beträchtlicher Dicke, welche durch eingeschlossene Luft weiß und undurchsichtig erscheint. Die Hagelwetter treten in der Regel in Begleitung von Gewittern (§ 288) auf und sind auf einen schmalen Landstrich beschränkt, der aber oft bedeutende Längenausdehnung hat. — Eine der Hagelbildung analoge Erscheinung ist das sogenannte Glatteis. Fallen im Winter unter den Gefrierpunkt abgekühlte und im Zustand der Überschmelzung befindliche Regentröpfchen auf den festen Erdboden, so erstarrten sie plötzlich und überziehen den Erdboden mit einer glatten Eissrinde. Daß hier die Abkühlung unter den Gefrierpunkt nicht erst am kalten Erdboden erfolgt, geht daraus hervor, daß die Bildung der Eisschicht auch auf ausgespannten Tüchern, Regenschirmen und anderen schlechten Wärmeleitern stattfindet.

§ 262. Tau und Reif. Durch die nächtliche Wärmeausstrahlung nach dem Weltraum wird bei heiterem Himmel die Erdoberfläche, wo sie von schlechten Wärmeleitern gebildet wird, bis unter den Taupunkt (§ 218) abgekühlt. Der in den mit der Erdoberfläche in Berührung befindlichen Luftschichten enthaltene Wasserdampf schlägt sich infolgedessen als Tau, oder wenn die Temperatur des Bodens unter dem Gefrierpunkt ist, als Reif nieder. Die Tau- oder Reifbildung erfolgt deshalb um so reichlicher, je größer das Wärmestrahlungsvermögen und je geringer das Wärmeleitungsvermögen der Erdoberfläche ist, am reichlichsten daher auf dunklen, rauhen Körpern, auf Pflanzenteilen, welche eine sehr große, strahlende Oberfläche darbieten und dabei sehr schlechte Wärmeleiter sind. An den Zweigen der Bäume bildet sich im Winter der Eisniederschlag als sogenannter Raufrost häufig in solcher Menge, daß starke Äste und Stämme durch das Gewicht desselben zusammenbrechen.

Die Taubildung wird verhindert durch alle Einflüsse, welche die freie Wärmeausstrahlung nach dem Weltraum beschränken, also durch Bewölkung des Himmels, durch Rauch, sowie durch jede Bedeckung des Bodens.

## Siebenter Abschnitt.

### Elektrizität und Magnetismus.

#### 1. Reibungselektrizität.

§ 263. Erregung der Elektrizität durch Reibung; Leiter und Nichtleiter der Elektrizität. Viele Körper, wie Harze, Schwefel, Glas, Seide, erlangen durch Reiben die Eigenschaft, leichte Körperchen anzuziehen und nach erfolgter Berührung wieder abzustofsen. Diese Eigenschaft nannte man Elektrizität, weil man schon im Altertum am Bernstein (*ῥηλεκτρον*) bemerkt hatte, daß er gerieben, leichte Körper, wie Aschenteilchen, Strohhalme u. dergl. anzieht, und teilte die Körper, je nachdem sie durch Reiben elektrisch wurden oder nicht, in idioelektrische und anelektrische. Nachdem jedoch Gray (1729) gezeigt hatte, daß die sogenannten anelektrischen Körper nicht nur elektrisiert werden können,

sondern auch den elektrischen Zustand auf grössere Entfernungen fortzupflanzen imstande sind, unterschied man richtiger Leiter und Nichtleiter der Elektrizität. Die Nichtleiter werden durch Reiben elektrisch und behalten ihre Elektrizität, indem dieselbe an der Stelle haftet, wo sie durch die Reibung erregt worden ist. Die Leiter können zwar ebenfalls elektrisch gemacht werden, bewahren den elektrischen Zustand aber nur dann, wenn sie von Nichtleitern umgeben und durch dieselben vom Erdboden isoliert sind. Die Nichtleiter werden deshalb auch Isolatoren genannt.

Zu den Nichtleitern gehören Harz (Schellack, Siegellack), Schwefel, Kautschuk, Guttapercha, Glas, Edelsteine, Seide, Kollodium, ganz trockenes Holz oder Papier u. s. w. Leiter der Elektrizität sind vorzugsweise die Metalle, ferner Graphit, Holzkohle, Wasser und viele Flüssigkeiten. Unvollkommene Leiter oder sogenannte Halbleiter sind: Luft, trockenes Holz, Papier, Baumwolle, Stroh, Leder, überhaupt die meisten organischen Gewebe und viele Gesteine (vergl. auch § 265).

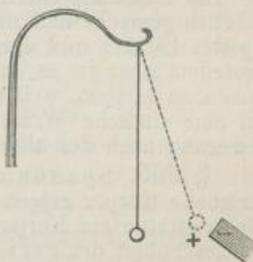
Trockene Luft ist ein Nichtleiter, feuchte Luft ein unvollkommener Leiter. Gase in sehr verdünntem oder erhitztem Zustand (Flamme) sind Leiter der Elektrizität (vergl. § 334). Der luftleere Raum ist nichtleitend für die Elektrizität.

Zur Ausführung des elektrischen Fundamentalversuches bedient man sich am besten einer mit Wollenzug geriebenen Siegellack- oder Hartgummistange, oder eines Glasstabes, der mit Kautschuk oder einem durch Zinn-Zink-Amalgam bestrichenen Lederlappen gerieben ist und trockener Holundermarkkugeln. Man bemerkt schon beim Reiben häufig ein leichtes Knistern und Funkensprühen, und dieses wiederholt sich bei dem lebhaften Auf- und Abtanzen der Kugeln.

Die ersten wissenschaftlichen Forschungen über die elektrische Anziehung von Glas, Harz u. s. f. sind von William Gilbert (1600) gemacht worden; später (1672) veröffentlichte Otto v. Guericke eine Reihe von Versuchen, aus denen die elektrische Abstossung hervorging; auch hat der letztere zuerst das Knistern einer elektrischen Kugel beobachtet, sowie das Aufleuchten derselben, wenn sie im Finstern gerieben wird.

§ 264. Elektrisches Pendel, positive und negative Elektrizität. Um den elektrischen Zustand eines Körpers zu prüfen, bedient man sich am einfachsten des elektrischen Pendels (Fig. 233), d. h. eines an einem Seidenfaden aufgehängten, leichten Kügelchens aus Binsen- oder Holundermark. Dasselbe wird von einer mit Wollenzug geriebenen Glas- oder Siegellackstange angezogen und nach erfolgter Berührung wieder abgestossen. Zwei neben einander aufgehängte Kügelchen, welche mit derselben geriebenen Glasstange berührt worden sind, stossen einander ab. Es folgt daraus, daß der elektrische Zustand des Glases durch die Berührung den Kügelchen mitgeteilt worden ist, und daß zwei gleichartig elektrische Körper einander abstossen. Mittelst des elektrischen Pendels überzeugt man sich, daß die Elektrizität der geriebenen Glasstange von der geriebenen Siegellackstange verschieden ist. Ein mit der geriebenen Glasstange berührtes Kügelchen wird, wie oben gezeigt, von dieser abgestossen, von der geriebenen Siegellackstange aber wird es angezogen. Nach Berührung mit der Siegellackstange wird es umgekehrt von dieser abgestossen und von der Glasstange angezogen. Die Elektrizitäten des geriebenen Glases und Siegellacks zeigen also ein verschiedenes und gewissermaßen entgegengesetztes Verhalten. Man unterscheidet dieselben

Fig. 233.



daher durch die Benennung Glas- und Harzelektricität, oder positive und negative Elektricität (Lichtenberg, 1777). Die angegebenen Erscheinungen können demnach in den Satz zusammengefaßt werden, daß zwischen gleichnamig elektrischen Körpern Abstofsung, zwischen ungleichnamig elektrischen Körpern Anziehung stattfindet.

Zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen nimmt Symmer (1759) das Vorhandensein zweier elektrischen Fluida an, welche, wenn sie in einem Körper in gleicher Menge vorhanden sind, sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben oder einander neutralisieren. Ein solcher Körper ist dann neutral elektrisch oder erscheint unelektrisch. Der Körper erscheint positiv oder negativ elektrisch, je nachdem eines oder das andere Fluidum im Überschufs vorhanden ist. Die Teilchen jedes der beiden Fluida stoßen einander ab; dagegen findet zwischen den Teilchen des positiven und denen des negativen Fluidums Anziehung statt, indem sich dieselben zu vereinigen und zu neutralisieren streben. In der That verlieren zwei gleich stark entgegengesetzt elektrische Körper durch Berührung ihren elektrischen Zustand, indem sich ihre Elektricitäten zu neutraler Elektricität vereinigen. Beim Reiben wird umgekehrt die neutrale Elektricität in positive und negative zerlegt; die beiden mit einander geriebenen Körper zeigen daher, wie unten (§ 265) näher erläutert wird, stets entgegengesetzte Elektricitäten.

Dieser sogenannten dualistischen Hypothese gegenüber, welche auf zwei entgegengesetzte, elektrische Fluida zurückkommt, haben Franklin und Apinus (1750—55) die elektrischen Erscheinungen durch die Annahme eines Fluidums erklären wollen, welches in unelektrischen Körpern in einer gewissen normalen Menge vorhanden sei, während ein Überschufs oder Mangel desselben den positiv oder negativ elektrischen Zustand bedinge.

Aus Versuchen, welche von H. Hertz 1887 in Karlsruhe und später in Bonn angestellt worden sind, geht hervor, daß die Elektricität, wie das Licht (§ 175) und die strahlende Wärme (§ 234) auf Schwingungen des Weltäthers zurückzuführen ist. Es ergeben sich für die elektrischen Wellen bestimmte Längen, welche nach Decimetern, Metern, Kilometern zu rechnen sind, und gleiche Geschwindigkeit wie für das Licht; dieselben werden, wenn der die Schwingungen erregende Leiter in der Brennpunktlinie eines sehr großen Hohlspiegels angebracht wird, zusammengehalten und treten als kräftige Strahlen aus dem Hohlspiegel heraus, erregen in den Leitern, welche sie treffen, Funken, und können durch Drehung des Spiegels in verschiedene Richtungen gesandt werden. Die Reflexionsgesetze für die elektrischen Strahlen sind dieselben wie für die Lichtstrahlen. Auch die Brechung elektrischer Strahlen ist von Hertz nachgewiesen worden, vermittelt eines sehr großen Prismas von Asphalt, ebenso die Polarisationserscheinungen (vergl. § 182).

Die Annahme elektrischer Fluida wird durch diese Entdeckungen ganz entbehrlich gemacht und die elektrischen und magnetischen Erscheinungen sind wie die des Lichtes und der Wärme durch Schwingungen des Weltäthers zu erklären. Trotzdem aber ist es zunächst noch zweckmäßig, bei der dualistischen Hypothese stehen zu bleiben, weil durch diese sich die bekannten elementaren Erscheinungen auf eine einfache Weise erklären lassen und die Methode der elektrischen Wellenbewegung noch der allgemeinen Durchführung bedarf.

§ 265. Spannungsreihe für Reibungselektricität. Zwei mit einander geriebene Körper zeigen stets entgegengesetzte Elektricitäten. Welche von beiden Elektricitäten ein Körper durch Reiben erhält, hängt daher nicht nur von der Beschaffenheit des geriebenen, sondern auch von der des reibenden Körpers ab. So wird z. B. Schwefel mit Wolle gerieben negativ, mit Kollodium gerieben dagegen positiv elektrisch. Auch die Beschaffenheit der Oberfläche, Politur u. s. w. ist von großem Einfluß. Man hat versucht, die Körper in eine Reihe zu ordnen, in welcher jeder folgende mit einem vorhergehenden gerieben negativ, jeder vorangehende dagegen mit einem der folgenden gerieben positiv elektrisch wird. Nach den Versuchen von Faraday und Riefs ist diese Spannungsreihe für Reibungselektricität folgende (vergl. § 306):

+	Bergkrystall	Die menschliche Hand	Schwefel
Katzenfell	Flintglas	Holz	Guttapercha
Flanell	Baumwolle	Metalle	Elektrisches Papier
Elfenbein	Leinwand	Kautschuk	Kollodium (Schiefshaumwolle).
Federkiele	Weifse Seide	Siegellack	

§ 266. Elektroskop. Zur Wahrnehmung geringer Elektrizitätsmengen dient das Elektroskop (Fig. 234). Ein Messingdraht, welcher an seinem oberen Ende bei *a* mit einem kugelförmigen Knopf versehen ist, trägt an seinem unteren Ende bei *b* zwei neben einander aufgehängte leicht bewegliche Körper. Cavallo wendete feine, bewegliche Silberdrähte, Volta (1788) Strohhalme, Bennet schmale Streifen von Blattgold an. Zum Schutz gegen Beschädigung und gegen Luftströmungen, sowie zur Vermeidung einer schnellen Zerstreung der Elektrizität, ist das untere Ende des Messingdrahtes, nebst den daran befestigten Goldblättchen, in einem Glasgefäß eingeschlossen, durch dessen Deckel oder Hals der Draht, durch Schellack isoliert, hindurchgeführt ist. Wird dem Knopf des Elektroskops ein elektrischer Körper genähert, so weichen die Goldblättchen aus einander, indem sie gleichnamig elektrisch werden und einander infolgedessen abstossen.

Apparate, welche auf einem ähnlichen Prinzip beruhen, aber vermöge ihrer Einrichtung eine Messung der elektrischen Abstossung und dadurch eine messende Vergleichung der mitgetheilten Elektrizitätsmengen gestatten, werden Elektrometer genannt (vergl. auch §§ 271 und 312). Das Quadranten-Elektrometer von Henley (1772).

Fig. 234.

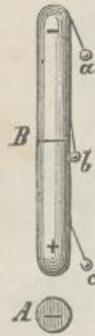


§ 267. Elektrische Verteilung oder Influenz. Nähert man dem Knopf eines Elektroskops eine geriebene Glas- oder Siegellackstange, so divergieren die Goldblättchen bereits, wenn sich der elektrische Körper noch in beträchtlicher Entfernung von demselben befindet. Entfernt man hierauf den elektrischen Körper, so fallen die Goldblättchen wieder zusammen. Es hat also schon aus der Entfernung eine Einwirkung des elektrischen Körpers auf das Elektroskop stattgefunden, ohne daß demselben Elektrizität durch Berührung mitgeteilt worden ist. Diese Einwirkung aus der Entfernung wird mit dem Namen der elektrischen Verteilung oder Influenz bezeichnet. Dieselbe erklärt sich nach der Hypothese der elektrischen Fluida (§ 264) auf folgende Weise. Der isolierte Leiter des Elektroskops *abc* (Fig. 234) ist vor dem Versuch neutral elektrisch, d. h. er enthält beide elektrischen Fluida in gleicher Menge, zu neutraler Elektrizität vereinigt. Nähert man demselben einen positiv elektrischen Körper, z. B. eine geriebene Glasstange, so wirkt die positive Elektrizität anziehend auf die negative und abstossend auf die positive Elektrizität des isolierten Leiters. Da auf dem Leiter beide Elektrizitäten frei beweglich sind, so wird durch diese Anziehung und Abstossung die neutrale Elektrizität desselben in positive und negative geschieden, indem sich die angezogene  $-E$  bei *a*, die abgestossene  $+E$  auf den Goldblättchen bei *c* ansammelt und diese, da sie gleichnamig elektrisch werden, zur Divergenz bringt. Wird jetzt der verteilende Körper, welcher die Trennung beider Elektrizitäten bewirkte, wieder entfernt, so vereinigen sich dieselben durch gegenseitige Anziehung zu neutraler Elektrizität, und die Goldblättchen fallen zusammen.

Berührt man vor der Entfernung des verteilenden, positiv elektrischen Körpers den Knopf des Elektroskops mit dem Finger, so sieht man die Goldblättchen zusammenfallen, indem die abgestossene  $+E$  zum Boden abgeleitet wird. Dagegen bleibt die  $-E$  auf dem Knopf des Elektroskops zurück, weil sie durch die Anziehung der ungleichnamigen  $+E$  des influierenden Körpers festgehalten oder gebunden wird.

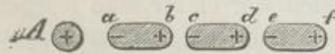
Hebt man jetzt die ableitende Berührung mit dem Finger auf und entfernt dann den influierenden, positiv elektrischen Körper, so wird die vorher im Knopf gebundene  $-E$  wieder frei beweglich und bringt, indem sie sich über den ganzen isolierten Leiter, also auch über die Goldblättchen verbreitet, diese zur Divergenz. Dafs dieselben jetzt in der That  $-E$  enthalten, kann man dadurch nachweisen, dafs die Divergenz bei Annäherung einer geriebenen Siegellackstange verstärkt, bei Annäherung einer geriebenen Glasstange dagegen vermindert wird. — Umgekehrt kann durch die Influenz eines genäherten, negativ elektrischen Körpers das Elektroskop mit  $+E$  geladen werden.

Fig. 235.



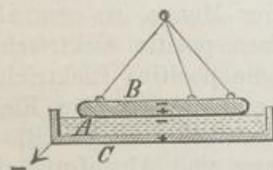
Nähert man einem isolierten Leiter  $B$  (Fig. 235), welcher bei  $a, b$  und  $c$  mit elektrischen Pendeln versehen ist, einen negativ elektrischen Körper  $A$ , so divergieren die Pendel  $a$  und  $c$ , das erstere mit  $-E$ , das letztere mit  $+E$ , während das Pendel  $b$  in Ruhe bleibt. Ist der Versuch so eingerichtet, dafs während der Einwirkung des influierenden Körpers der Leiter bei  $b$  getrennt werden kann, so werden dadurch die geschiedenen Elektricitäten an der Wiedervereinigung gehindert, und nach Entfernung des influierenden Körpers  $A$  bleibt die obere Hälfte mit  $-E$ , die untere mit  $+E$  geladen. Wird einer Reihe isolierter Leiter  $ab, cd, ef$  (Fig. 236), die durch Zwischenräume getrennt sind, ein positiv elektrischer Körper  $A$  genähert, so wirkt derselbe zunächst influierend auf den nächsten Leiter, welcher bei  $a$  negativ, bei  $b$  positiv elektrisch wird. Die  $+E$  bei  $b$  wirkt ihrerseits verteilend auf die neutrale Elektricität des zweiten Leiters u. s. w., so dafs sich die Influenz durch die ganze Reihe von Leitern auf gleiche Weise, wiewohl mit abnehmender Stärke, fortpflanzt, was durch angehängte, elektrische Pendel nachgewiesen werden kann.

Fig. 236.



§ 268. Elektrophor. Ein Beispiel der Anwendung der Gesetze der elektrischen Influenz bildet der zur Erzeugung grösserer Elektricitätsmengen dienende Elektrophor (Volta, 1775). Derselbe besteht aus

Fig. 237.



einer einfachen Scheibe  $A$  (Fig. 237) von nichtleitender Masse, am besten aus einem Harzgemisch oder vulkanisierter Kautschukmasse (sogenanntem Hartkautschuk oder Kammmasse), welche in einer leitenden Form  $C$  enthalten ist, oder auf einer leitenden, metallischen Unterlage ruht und aus dem kreisförmigen, leitenden Deckel oder Schild  $B$ , welcher mit einer isolierenden Handhabe von Glas oder Seidenschnüren versehen ist. Vor dem Gebrauch teilt man der Oberfläche der Harz- oder Kautschukscheibe durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz, oder Reiben mit Katzenfell negative Elektricität mit. Setzt man dann den Deckel auf, so wird die neutrale Elektricität desselben durch Influenz (§ 267) in  $+E$  und  $-E$  geschieden. Berührt man den Deckel, während er auf der Scheibe steht, ableitend mit dem Finger, so wird die abgestoßene (freie)  $-E$  nach dem Erdboden abgeleitet, und die gebundene  $+E$  bleibt allein auf der unteren Fläche des Deckels zurück. Hebt man diesen jetzt mittelst der isolierenden Handhabe auf, so wird die gebundene  $+E$  frei und kann in Form eines von Geräusch begleiteten, elektrischen Funkens (vergl. § 274) von dem Deckel entfernt werden. Diesen Vorgang kann man beliebig oft wiederholen und so unbegrenzte Mengen von

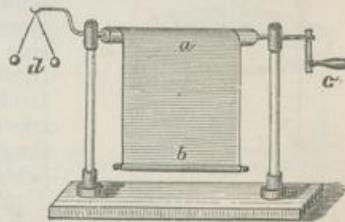
Influenzelektrizität erzeugen. Hebt man den auf den Elektrophor gesetzten Deckel wieder ab, ohne ihn vorher ableitend berührt zu haben, so erhält man keine Elektrizität, da sich die  $+E$  und  $-E$  bei der Entfernung vom verteilenden Harzkuchen wieder zu neutraler Elektrizität vereinigen.

Die Eigenschaft des Elektrophors (Elektrizitätsträgers), den ihm einmal durch Reiben erteilten, elektrischen Zustand längere Zeit hindurch zu bewahren, beruht wesentlich auf dem Einfluß der leitenden Form oder Unterlage, welcher am besten an einem Kautschukelektrophor nachgewiesen werden kann, dessen Scheibe sich von der Unterlage abheben läßt. Die auf ihrer oberen Fläche geriebene Scheibe zeigt sich nämlich beim Abheben auf der unteren Fläche positiv elektrisch, und wenn man dieselbe umkehrt, so kann man von der ursprünglich unteren Fläche durch Aufsetzen des Deckels negative Influenzelektrizität erhalten, wie von der oberen Fläche positive. Die  $+E$  der unteren Fläche der Scheibe erklärt sich dadurch, daß die auf der oberen Fläche erregte  $-E$  auf die neutrale Elektrizität der Form verteilt wirkt. Die  $-E$  wird abgestoßen und nach dem Erdboden abgeleitet, die  $+E$  begiebt sich nach der unteren Fläche der Scheibe. In der That macht sich beim Abheben der Scheibe von der Unterlage der Übergang der  $+E$  von der Form zur Scheibe durch kleine, knisternde Fünkchen wahrnehmbar. Ist so die Scheibe auf beiden Flächen mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen, so hindern dieselben durch ihre gegenseitige Anziehung die Zerstreuung an die Luft, und der Elektrophor bewahrt lange Zeit hindurch seinen elektrischen Zustand. — Schichtet man mehrere nichtleitende Platten über einander, von denen die unterste auf einer leitenden Unterlage ruht, und elektrisiert man die oberste Platte durch Reibung, so findet man beim Auseinandernehmen jede einzelne Platte auf ihren beiden Flächen mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen.

§ 269. Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche der Leiter. Eine Folge der Abstofsung, welche die gleichnamigen Elektrizitäten auf einander ausüben, ist die, daß die einem isolierten Leiter mitgeteilte Elektrizität sich immer nur auf der Oberfläche des Leiters ansammelt, während im Innern des Leiters niemals freie Elektrizität vorhanden ist. Es ist daher gleichgültig, ob die zur Ansammlung von Elektrizität bestimmten Leiter massiv oder hohl sind.

Zwischen einer hohlen und einer massiven Metallkugel von gleichem Durchmesser teilt sich die Elektrizität bei der Berührung in gleichem Verhältnis. Elektrisiert man eine isolierte, massive Metallkugel, welche von einer aus zwei halbkugelförmigen Metallschalen gebildeten Hülle umgeben ist, und entfernt darauf diese Metallschalen mittelst daran befestigter, isolierender Handgriffe, so bleibt der Kern unelektrisch zurück, indem sich alle Elektrizität auf den Schalen angesammelt hat. Elektrisiert man ein Stück Metallpapier  $ab$  (Fig. 238), welches mittelst der Kurbel  $c$  auf eine kleine Walze aufgewunden werden kann und mit den elektrischen Pendeln  $d$  in leitender Verbindung steht, so nimmt die Divergenz der Pendel beim Aufwinden dieses von Magnus hergestellten elektrischen Rouleaus zu, beim Herablassen ab, obgleich die Masse des Leiters in beiden Fällen dieselbe geblieben ist. Die gleiche Elektrizitätsmenge breitet sich im ersten Fall auf einer kleineren, im letzteren auf einer größeren Oberfläche aus, ihre Dichtigkeit ist daher im ersten Fall größer.

Fig. 238.



§ 270. Auf der Oberfläche einer isolierten und völlig frei stehenden, leitenden Kugel verteilt sich die Elektrizität mit gleichförmiger Dichtigkeit, d. h. so, daß auf jeder Flächeneinheit die gleiche Elektrizitätsmenge vorhanden ist. Auf Leitern von länglicher Gestalt sammelt sich die Elektrizität infolge der gegenseitigen Abstofsung ihrer Teile vorzugsweise an den Enden an, oder die Dichtigkeit der elektrischen Verteilung nimmt von der Mitte nach den Enden hin zu. Im allgemeinen ist die Dichtig-

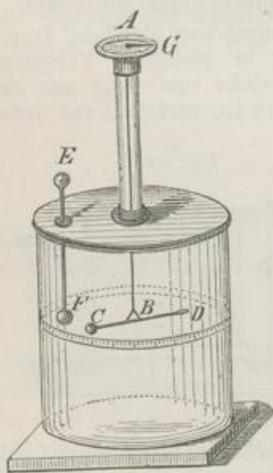
keit der Elektricität am größten an hervorragenden Teilen des Leiters, also namentlich an scharfen Kanten, Ecken oder Spitzen. An diesen Stellen findet daher auch am leichtesten eine Ausströmung und Zerstreuung der Elektricität an die umgebende Luft statt (vergl. § 275), und dieselben müssen bei Leitern, welche zur Ansammlung von Elektricität bestimmt sind, gänzlich vermieden werden.

§ 271. Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstofsung; Coulombsche Drehwage. Coulomb hat gezeigt, daß, entsprechend dem Newtonschen Gesetz der allgemeinen Massenanziehung (§ 58), die Anziehung zwischen den ungleichnamigen, oder die Abstofsung zwischen den gleichnamigen Elektricitäten den auf einander wirkenden Elektricitätsmengen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional ist.

Wählt man als Einheit der Elektricitätsmenge diejenige Menge, welche auf eine ihr gleiche in der Entfernung von einem Meter die Abstofsung 1 ausübt, so wird die Abstofsung zwischen den Elektricitätsmengen  $m$  und  $m'$  in der Entfernung von einem Meter (in Gewichtseinheiten ausgedrückt) durch das Produkt  $m \cdot m'$  dargestellt, d. h. so groß wäre die Spannung, welche ein die beiden elektrischen Körper verbindender, isolierender Faden aushalten müßte, um ihre Entfernung zu verhindern (vergl. § 38). In der Entfernung von  $r$  Meter ist also die Abstofsung  $\frac{m \cdot m'}{r^2}$ . Bringt man die positiven und negativen Elektricitätsmengen mit entgegengesetzten Vorzeichen in Rechnung, so ist das Produkt  $m \cdot m'$  positiv oder negativ, je nachdem die Elektricitäten gleichnamig oder ungleichnamig sind. Durch das Vorzeichen des Produktes wird also angedeutet, daß im ersten Fall eine Abstofsung, im letzten eine Anziehung stattfindet.

Zur Nachweisung des ausgesprochenen Gesetzes, sowie zur Messung von Elektricitätsmengen, bediente sich Coulomb der von ihm 1777 erfundenen elektrischen Drehwage, deren Einrichtung im wesentlichen folgende ist: An einem

Fig. 239.



hartgezogenen Silberdraht  $AB$  (Fig. 239) ist der horizontale Hebel  $CD$  aus gefirnifstem Glas oder Schellack aufgehängt, welcher bei  $C$  einen kugelförmigen Metallknopf trägt, der durch ein passendes Gegenstück bei  $D$  im Gleichgewicht gehalten wird. Der Hebel ist zum Schutz gegen Luftströmungen von einem weiten, cylindrischen Glasgefäß umgeben, an dessen Umfang eine Gradteilung angebracht ist, an welcher man ablesen kann, um wieviel Grade der Hebel aus seiner ursprünglichen, mit Null bezeichneten Gleichgewichtslage gedreht worden ist. Der Kugel  $C$  steht eine zweite, feste Kugel  $E$ , die Standkugel der Drehwage gegenüber, welcher mittelst des durch den Deckel des Gefäßes geführten Drahtes  $EF$  eine elektrische Ladung mitgeteilt werden kann. Bei der anfänglichen Gleichgewichtslage des Hebels müssen sich beide Kugeln gerade berühren. Die der Standkugel  $F$  mitgeteilte Ladung teilt sich zwischen beiden Kugeln und bewirkt eine Abstofsung beider, infolge deren der bewegliche Hebel um eine gewisse Anzahl von Graden aus seiner Ruhelage abgelenkt wird. Derselbe dreht sich nämlich so weit, daß der elektrischen Abstofsung durch die Drehungselasticität des Drahtes das

Gleichgewicht gehalten wird, welche den Hebel in seine ursprüngliche Lage zurückzuführen strebt. Um den Hebel um  $1^\circ$  aus seiner Gleichgewichtslage zu drehen, also dem Draht eine Drehung von  $1^\circ$  zu erteilen, ist ein gewisses Drehungsmoment (§ 46) erforderlich, welches mit  $\theta$  bezeichnet und der Drehungskoeffizient des Drahtes genannt werden soll. Da die elastische Kraft dem Drehungswinkel proportional wächst (§ 8), so wird zu einer Drehung des Hebels um  $2^\circ$  das Drehungsmoment  $2\theta$ , zu einer Drehung um  $x^\circ$  das Drehungsmoment  $x\theta$  erforderlich sein. Es kann also aus der Größe des Drehungswinkels auf die Größe der

elektrischen Abstofsung geschlossen werden, welche diesen Drehungswinkel hervorbringt. Um die Drehung des Drahtes beliebig abändern zu können, ist derselbe bei  $A$  so aufgehängt, daß sein oberes Ende ebenfalls um die Axe des Instruments gedreht, und der Drehungswinkel an einem Drehungszeiger  $AG$  abgelesen werden kann, der sich auf einer Kreisteilung bewegt. Die so vorgerichtete Drehwage kann nun zu einem doppelten Zweck dienen, nämlich:

1. Zur Nachweisung des Coulombschen Gesetzes über die Abnahme der elektrischen Kraft im quadratischen Verhältnis der Entfernung. Angenommen, eine gewisse, dem Instrument mitgeteilte Elektrizitätsmenge habe eine Ablenkung des Hebels um  $20^\circ$  bewirkt. Die elektrische Abstofsung in einer diesem Drehungswinkel entsprechenden Entfernung ist also hinreichend, um einer Drehung des Drahtes von  $20^\circ$  das Gleichgewicht zu halten. Dreht man jetzt den Drehungszeiger  $AG$  in einer der Ablenkung des Hebels entgegengesetzten Richtung, so wird dadurch die Drehung des Drahtes vergrößert, und die elektrischen Kugeln werden einander genähert. Angenommen, es sei eine Drehung des Torsionszeigers um  $70^\circ$  erforderlich, um den Hebel bis auf  $10^\circ$  zurückzuführen, so ist das obere Ende des Drahtes aus der ursprünglichen Ruhelage um  $70^\circ$  nach rechts, das untere Ende mit dem Hebel um  $10^\circ$  nach links gedreht, die Drehung des Drahtes beträgt also  $80^\circ$ . Dieselbe hält der elektrischen Abstofsung in der Entfernung der Kugeln von  $10^\circ$  das Gleichgewicht, während bei der doppelten Entfernung von  $20^\circ$  eine viermal geringere Drehung erforderlich war. Dagegen würde in 3mal geringerer Entfernung eine 9mal größere, in 4mal geringerer Entfernung eine 16mal größere Drehung erforderlich sein u. s. w. Bei wirklicher Ausführung messender Versuche muß beachtet werden, daß erstens die Entfernung der Kugeln nicht durch den Bogen, sondern durch die dem Bogen entsprechende Sehne gemessen wird, und daß zweitens die Richtung der abstofsenden Kraft nicht senkrecht zum Hebelarm wirkt (vergl. § 46).

2. Zur Messung von Elektrizitätsmengen. Werden der Drehwage nach einander verschiedene Elektrizitätsmengen mitgeteilt, so werden dieselben verschiedene Ablenkungen des Hebels bewirken. Durch Drehung des Drehungszeigers  $AG$  kann aber der Hebel jedesmal auf dieselbe Entfernung von der Standkugel zurückgeführt werden. Aus den dazu erforderlichen Drehungswinkeln des Drahtes schließt man auf das Verhältnis der Elektrizitätsmengen. Die zu vergleichenden Elektrizitätsmengen seien  $m$  und  $m'$ . Angenommen, es sei im ersten Fall eine Drehung des Drehungszeigers um  $30^\circ$ , im zweiten Fall um  $80^\circ$  erforderlich gewesen, um den Hebel bis zur Entfernung von  $10^\circ$  zurückzuführen, so beträgt die Drehung des Drahtes im ersten Fall  $30^\circ + 10^\circ$ , im zweiten Fall  $80^\circ + 10^\circ$ , die Abstofsungskräfte stehen also bei gleicher Entfernung im Verhältnis von 4 : 9. Sind die Standkugel und die bewegliche Kugel gleich groß, so hat im ersten Fall jede Kugel die Elektrizitätsmenge  $\frac{1}{2} m$ , im letzten Fall jede  $\frac{1}{2} m'$  erhalten; die Entfernung  $r$  ist in beiden Fällen dieselbe, mithin ist:

$$\frac{1}{2} m \cdot \frac{1}{2} m : \frac{1}{2} m' \cdot \frac{1}{2} m' = 4 : 9$$

und demnach:

$$m : m' = 2 : 3.$$

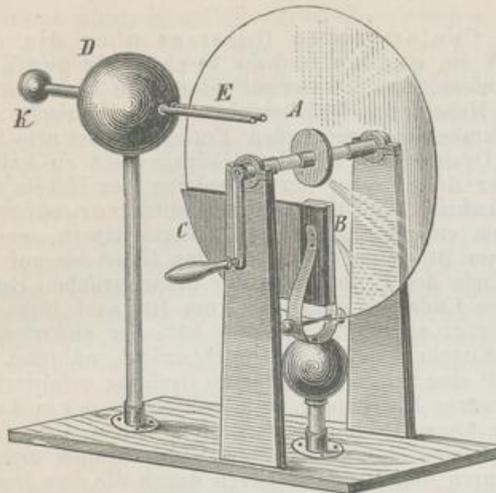
Im allgemeinen stehen die Elektrizitätsmengen im Verhältnis der Quadratwurzeln aus den beobachteten Drehungswinkeln.

Ein empfindlicherer und für den Gebrauch bequemerer, aber weniger einfacher Apparat zur Messung statischer Elektrizitätsmengen ist das Sinuselektrometer, auf dessen Einrichtung jedoch hier nicht eingegangen werden kann.

§ 272. Die Elektrisiermaschine besteht aus dem geriebenen Körper, dem reibenden Körper oder Reibzeug und dem zur Ansammlung der erzeugten Elektrizität dienenden, isolierten Leiter oder Konduktor. Als geriebener Körper kann Glas, Harz, Schwefel, Kautschukmasse oder ein anderer Nichtleiter dienen. Man giebt demselben in der Regel die Gestalt einer kreisrunden Scheibe  $A$  (Fig. 240), oder eines Cylinders, welcher

mittelst einer Kurbel um eine isolierende Axe gedreht werden kann. Als Reibzeug dienen bei Scheibenmaschinen zwei mit Amalgam bestrichene Lederkissen *B*, welche von beiden Seiten her durch mäßigen Federdruck gegen die Scheibe gedrückt werden. Bei Cylindermaschinen ist nur ein Reibkissen erforderlich, welches seitlich gegen den Cylinder gepresst wird. Die am Reibzeug befestigten Lappen von Seidenzeug *C*, welche sich von beiden Seiten her gegen die Scheibe legen, haben den Zweck, die Zerstreung der Elektricität auf dem Wege bis zum Konduktor zu verhindern. Der durch Glasfüße wohl isolierte Konduktor *D* hat die Gestalt einer Kugel, oder eines an beiden Enden mit Halbkugeln geschlossenen Cylinders.

Fig. 240.



Wünscht man an einer Stelle des Konduktors eine grössere Dichtigkeit zu erlangen, so giebt man dem Konduktor einen Fortsatz in Form eines längeren, dünnen Cylinders, der in einen kugelförmigen Knopf *K* endigt. Zur Aufnahme der auf der Scheibe erregten Elektricität durch den Konduktor dienen die Einsauger, denen man verschiedene Formen gegeben hat. In der Regel sind es zwei Metallarme *E*, welche beiden Flächen der Scheibe gegenüberstehen und auf der inneren, der Scheibe zugekehrten Seite gewöhnlich mit einer Reihe von Spitzen versehen sind, welche die Aufnahme der Elektricität befördern. An allen übrigen Teilen des Konduktors müssen hervorragende Spitzen und Kanten sorgfältig vermieden werden (§ 270). Zur Verstärkung der Dichtigkeit der Elektricität dient ein auf den Konduktor aufgesetzter Holzring, der im Innern einen Metalldraht enthält, der Wintersche Ring. — Durch Reibung des Amalgams mit dem Glase wird das Reibzeug negativ, das Glas positiv elektrisch. Die positive Elektricität der Scheibe wirkt, wenn sie durch Drehung der Scheibe in die Nähe der Einsauger kommt, verteilend auf die neutrale Elektricität des Konduktors. Die negative wird angezogen und strömt aus den Spitzen des Einsaugers auf die Scheibe über, deren  $+$  *E* dadurch neutralisiert wird. Die abgestoßene, positive Elektricität des Konduktors dagegen bleibt auf diesem zurück und begiebt sich nach den von der Scheibe entfernteren Teilen desselben, von wo sie durch Ableitung nach dem Erdboden, oder durch Annäherung eines mit dem Boden verbundenen Leiters bis auf eine gewisse Entfernung in Form elektrischer Funken (§ 274) entfernt werden kann. Um zu verhindern, dafs durch die negative Elektricität, welche sich auf dem Reibzeug ansammelt, ein Teil der positiven Elektricität der Scheibe sogleich wieder neutralisiert werde, mufs während der Drehung der Scheibe das Reibzeug mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden. Es ist jedoch zweckmäfsig, die Maschine so einzurichten, dafs auch das Reibzeug isoliert werden kann. Leitet man

dar  
bei

Ele  
Rei  
mas  
(178  
van  
mes  
jede  
Fed  
gee  
neu  
Am  
Das  
kiss  
wird  
Wär  
posi

Ele  
sche  
und  
sow  
ist  
nung  
herv  
Ent  
und

Abst  
elekt  
wese  
zu e  
trisch  
Gloc  
Duro  
Elek  
ten  
von  
dem  
A m  
nega  
daher  
bring  
Kond  
der

z. B.  
gefäß  
Spitz  
lebha  
kurze  
nämli  
die V  
I  
an d  
Jo

dann die positive Elektrizität des Konduktors zur Erde ab, so erhält man beim Drehen der Scheibe vom Reibzeug negative Elektrizität.

Otto v. Guericke (vergl. § 97) benutzte zuerst zur leichteren Erregung der Elektrizität eine um eine Axe drehbare Schwefelkugel, bei welcher die Hand als Reibzeug diente (1672). Winkler brachte ein Reibkissen an (1745). Scheibenmaschinen wurden zuerst (1760) von Planta konstruiert. Die von Cuthbertson (1785) für das Teylersche Museum in Haarlem konstruierte Maschine, an welcher van Marum seine Versuche anstellte, besitzt zwei Scheiben von 165 cm Durchmesser. Mit einem Konduktor von 2,2 qm Oberfläche versehen, gab dieselbe in jeder Minute 300 Funken von 60 cm Länge und der scheinbaren Dicke eines Federkiesels. — Nicht alle Glassorten sind zur Erzeugung von Elektrizität gleich geeignet. Seit einiger Zeit in Gebrauch befindliche Scheiben wirken besser als neue. Zum Reibzeug braucht man am besten das sogenannte Kienmayersche Amalgam, aus 2 Gewichtsteilen Quecksilber, 1 Teil Zinn und 1 Teil Zink bestehend. Dasselbe wird fein gepulvert mit Hilfe von ein wenig Fett auf die ledernen Reibkissen aufgetragen. — Bei der Dampfelektrisiemaschine von Armstrong wird die Elektrizität durch die Reibung hochgespannten Wasserdampfes an den Wänden passend gestalteter Ausströmungsröhren erzeugt. Der Dampf wird dabei positiv, der isolierte Kessel negativ elektrisch (s. § 285).

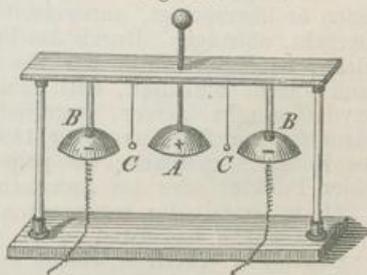
§ 273. Wirkungen der Elektrisiemaschine. Mittelst der Elektrisiemaschine lassen sich in verstärktem Maße alle diejenigen Erscheinungen hervorbringen, welche im vorhergehenden bereits erläutert sind und auf den Gesetzen der elektrischen Anziehung und Abstofsung, sowie auf dem Prinzip der elektrischen Influenz beruhen. Nächstdem ist dieselbe besonders geeignet zur Nachweisung der elektrischen Erscheinungen, welche bei größerer Dichtigkeit und Spannung der Elektrizität hervortreten, insbesondere der verschiedenen Arten der elektrischen Entladung, welche im folgenden Paragraphen näher besprochen werden, und ihrer Wirkungen auf den menschlichen Körper.

Zu den Versuchen, welche zur Erläuterung der elektrischen Anziehung und Abstofsung mit der Elektrisiemaschine angestellt zu werden pflegen, gehören der elektrische Puppentanz, das elektrische Glockenspiel u. s. w. Da dieselben alle im wesentlichen auf demselben Prinzip beruhen, so genügt es, einen dieser Versuche zu erläutern. Die Metallglocke *A* (Fig. 241) stehe mit dem Konduktor der Elektrisiemaschine durch einen Metalldraht in leitender Verbindung, dagegen seien die Glocken *B*, *B* vom Konduktor durch Glasstäbe isoliert und zum Boden abgeleitet. Durch Influenz der positiven Elektrizität bei *A* wird auf den Glocken *B* negative Elektrizität hervorgerufen. Die zwischen den Glocken an Seidenfäden aufgehängten Metallknöpfchen *C*, *C* werden abwechselnd von *A* und *B* angezogen und abgestoßen, indem sie sich jedesmal durch Berührung mit *A* mit positiver, durch Berührung mit *B* mit negativer Elektrizität laden. Dieselben pendeln daher zwischen den Glöckchen hin und her und bringen dieselben zum Tönen, solange die dem Konduktor entzogene Elektrizität durch Drehen der Elektrisiemaschine erneuert wird.

Läßt man in einem mit Staubteilchen, z. B. Rauch oder dergleichen gefüllten Glasgefäße Elektrizität aus einer oder mehreren Spitzen ausströmen, so wirbeln die Staubmassen lebhaft durch einander und schlagen sich in kurzer Zeit an der Gefäßwand nieder (Nahrwold, 1878); die Staubteilchen nämlich werden gleichnamig elektrisch und stoßen sich infolgedessen ab, bis sie die Wand erreichen und sich an ihr entladen.

Durch elektrische Anziehung sträuben sich trockene Haare bei Annäherung an den Konduktor und saugen die Elektrizität ein. Der Körper einer Person,

Fig. 241.



welche, auf einem mit Glasfüßen versehenen Isolierschemel stehend, den Konduktor berührt, wird dadurch zu einem Teil des Konduktors, und es können aus demselben, wie aus anderen Teilen, durch Annäherung eines Leiters, elektrische Funken gezogen werden. Die elektrischen Funken erregen an der Stelle der Haut, welche sie treffen, einen stechenden Schmerz. Bei größeren Elektrizitätsmengen bringt die elektrische Entladung gleichzeitig eine unangenehme Empfindung in den Gelenken und Muskelzuckungen hervor. Wie die Hautnerven, so werden die Nerven der übrigen Sinnesorgane in ihrer eigentümlichen Weise erregt. So nimmt das Auge den elektrischen Schlag als Lichtblitz, das Ohr den durch den Hörnerv geleiteten Schlag als Geräusch wahr. Die Zunge empfindet beim Überschlagen des Funkens einen eigentümlich salzigen Geschmack, der zum Teil in einer chemischen Wirkung der elektrischen Entladung seinen Grund hat (vergl. § 339 ff.). Ebenso rührt der eigentümliche Geruch, welchen man beim Drehen einer kräftig wirkenden Elektrisiermaschine wahrnimmt, von einer chemischen Einwirkung der Elektrizität auf den Sauerstoff der atmosphärischen Luft her. Dieser wird nämlich dabei teilweise in die eigentümliche, von Schönbein entdeckte Modifikation übergeführt, welche dieser Forscher Ozon genannt hat (vergl. § 339). Durch länger andauernde, elektrische Entladungen wird durch chemische Vereinigung des Sauerstoffs und Stickstoffs der Atmosphäre eine gewisse Quantität salpetriger Säure gebildet.

§ 274. Verschiedene Arten der elektrischen Entladung. Man unterscheidet drei Arten der elektrischen Entladung, welche nach ihrer Dauer und den sie begleitenden Lichterscheinungen verschieden sind: 1) die Funkenentladung, 2) die Büschelentladung, 3) die Glimmentladung.

1. Der elektrische Funke entsteht, wenn zwei entgegengesetzt elektrische Leiter ohne hervorragende Ecken und Spitzen einander bis auf eine hinreichend geringe Entfernung genähert werden. Ist einer von beiden Leitern vor der Annäherung unelektrisch, wie z. B. ein mit dem Erdboden verbundener Leiter, welcher dem Konduktor einer Elektrisiermaschine genähert wird, so geht doch der Funkenentladung immer eine elektrische Influenz voraus, durch welche der Leiter die entgegengesetzte Elektrizität erhält. Der Funke besteht in einer gewaltsamen Durchbrechung der nichtleitenden Luft, welche der Vereinigung der Elektrizitäten ein Hindernis entgegengesetzt. Die Schlagweite des Funkens ist, wie Riefs gezeigt hat, der Dichtigkeit der Elektrizität proportional (vergl. § 279). Derselbe erscheint in Gestalt eines einfachen, helleuchtenden, scharf begrenzten, bei größerer Länge zickzackförmigen, momentanen Lichtstreifs und ist von einem lebhaften Geräusch begleitet.

Die Farbe des Funkens ist einerseits von der Natur der Metalle, zwischen denen er überspringt, andererseits von der Beschaffenheit des Gases, in dem er übergeht, abhängig. Durch das Prisma zerlegt, zeigt das Licht des Funkens zahlreiche, nach der Natur der Metalle und Gase verschiedene, helle Linien. Man kann daraus schließen, daß beim Übergang des Funkens eine Losreißung und Oxydation sehr kleiner, materieller Teilchen, und gleichzeitig ein Erglänzen der Gasmasse stattfindet (vergl. § 149). In der That zeigt sich nach dem Übergang des Funkens zwischen zwei polierten Metallflächen die Spur desselben in Form feiner Punkte, oder bei Anwendung größerer Elektrizitätsmengen (Batteriefunken § 281) in Gestalt der sogenannten Priestleyschen Ringfiguren.

Um feste Isolatoren, z. B. Glasplatten zu durchbrechen, ist eine größere Dichtigkeit erforderlich, welche man erreicht, indem man einen von beiden Leitern in eine Spitze auslaufen läßt und diese mit einem nichtleitenden Kitt auf einer Fläche der Glasplatte festkittet, so daß die auf der Spitze in großer Dichtigkeit angesammelte Elektrizität keinen anderen Ausweg hat, als durch die Glasplatte hindurch nach dem gegenüberstehenden Leiter. Man kann auf diese Weise mit einer kräftig wirkenden Elektrisiermaschine mehr als zolldicke Glasplatten durchschlagen.

Leicht brennbare Stoffe, wie Weingeist, Äther, namentlich aber explosive Gas-

gemenge (Knallgas — elektrische Pistole), werden durch den elektrischen Funken entzündet. Man benutzt denselben deshalb bei der Gasanalyse mittelst des Eudiometers, sowie zur Minenentzündung (vergl. §§ 282, 335).

§ 275. 2. Die Büschelentladung findet statt, wenn bei großer Dichtigkeit der Elektrizität auf dem Konduktor kein Leiter in hinreichender Nähe steht, um einen Funken zu erzeugen. Die Elektrizität strömt dann in einem Büschel bläulicher oder rötlicher, divergierender Strahlen aus und zwar mit einem eigentümlich zischenden Geräusch. Die elektrischen Büschel sind wegen ihres schwächeren Lichtes in der Regel nur in einem verfinsterten Zimmer sichtbar; dieselben zeigen sich am schönsten, wenn auf den Konduktor einer kräftig wirkenden Maschine ein stumpfes, kegelförmiges Holzstück oder ein Wassertropfen gebracht wird. Ein sehr dünner, mit dem Konduktor verbundener Metalldraht erscheint seiner ganzen Länge nach durch büschelförmige Strahlen leuchtend:

3. Die Glimmentladung besteht in einem stetigen, geräuschlosen Ausströmen der Elektrizität, unter ruhigem Leuchten der Stelle, von welcher die Ausströmung erfolgt. Dieselbe findet vorzugsweise an Spitzen statt. Wird auf dem Konduktor eine Spitze angebracht, oder wird demselben eine Spitze in einiger Entfernung gegenübergehalten, so strömt alle Elektrizität geräuschlos aus dem Konduktor aus, oder wird durch die aus der gegenüberstehenden Spitze ausströmende, entgegengesetzte Elektrizität neutralisiert, ohne daß es möglich ist, einen Funken aus dem Konduktor zu erhalten.

Die positive Elektrizität erzeugt beim Ausströmen ausgedehntere Büschel als die negative. Das Glimmlicht kann als ein Büschel von sehr geringer Ausdehnung angesehen werden und geht namentlich bei  $+E$  leicht in den Büschel über. Auch ist die Ausströmung beim Glimmlicht eine ganz kontinuierliche, beim Büschel dagegen diskontinuierlich, wie man durch Betrachtung desselben in einem schnell rotierenden Spiegel nachweisen kann.

Mit dem glimmenden Ausströmen der Elektrizität ist die Erscheinung des sogenannten elektrischen Windes verbunden, einer Luftströmung, durch welche eine vor die Spitze gehaltene Lichtflamme fortgeweht wird. Diese Luftbewegung erklärt sich durch die Abstossung der an der Spitze gleichnamig elektrisierten Luftteilchen. Umgekehrt wird die Spitze, wenn sie beweglich ist, rückwärts getrieben, was durch das elektrische Spitzenrad anschaulich gemacht werden kann. Ein gerader, einige Centimeter langer Draht  $AB$  (Fig. 242) mit zugespitzten, nach entgegengesetzten Seiten umgebogenen Enden schwebt mittelst eines bei  $C$  angebrachten Metallhütchens frei drehbar auf einer isolierten Metallspitze. Wird diese mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine verbunden, so strömt die Elektrizität glimmend durch die Spitzen  $A$  und  $B$  aus, und der Draht beginnt in einem der Ausströmungsrichtung entgegengesetzten Sinne zu rotieren. Man kann auch zwei solche Drähte unter rechtem Winkel sich kreuzend verbinden (vergl. § 87, c).

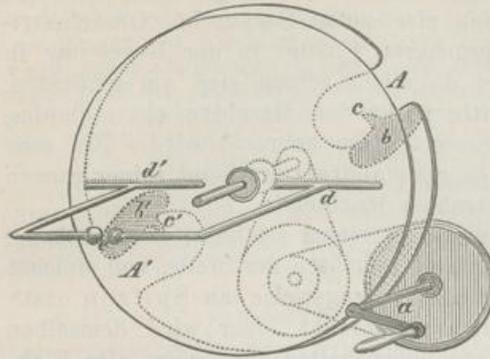


§ 276. Bei der Influenz-Elektrifiziermaschine (Elektrophormaschine) von Holtz (1865) (Fig. 243) wird die Elektrizität nicht durch Reibung, sondern durch Influenz, wie beim Elektrophor (§ 268), erzeugt. Dieselbe besteht aus zwei kreisförmigen, durch einen möglichst kleinen Zwischenraum getrennten\*), gefirniften Glasscheiben, von welchen die eine,

\*) In der Figur sind die Glasscheiben absichtlich weiter von einander getrennt.

etwas grössere, feststeht, die andere mittelst einer Kurbel  $a$  und eines Schnurlaufs in schnelle Umdrehung versetzt werden kann. An der ersteren sind an zwei gegenüberliegenden Stellen  $A, A'$  Ausschnitte oder grössere Öffnungen angebracht und der Rand jeder Öffnung auf einer Seite mit einer schmalen Belegung  $b$  von Kartonpapier versehen, von welcher eine

Fig. 243.



Spitze  $c$  in den Ausschnitt der Scheibe hervorragt. Diesen Papierbelegungen stehen auf der anderen (in der Figur vorderen) Seite der rotierenden Scheibe zwei mit einer kammförmigen Reihe von Zähnen versehene Einsauger  $d, d'$  gegenüber, welche als Konduktoren für die positive und negative Elektrizität dienen. Denkt man sich zu Anfang des Versuches die beiden Konduktoren bei  $e$  in leitende Verbindung gesetzt und der Belegung  $b$  eine gewisse Menge positiver, der Belegung  $b'$  eine gleiche Menge negativer Elektrizität mitgeteilt, so können diese Belegungen ihrer Wirkung nach mit den Harzkuchen zweier entgegengesetzt elektrischen Elektrophore und die rotierende Scheibe mit dem beweglichen Deckel derselben verglichen werden. Die  $+E$  der Belegung  $b$  wirkt nämlich durch Influenz auf den ihr gegenüberstehenden Teil der rotierenden Scheibe und auf den Konduktor  $d$ . Infolgedessen strömt aus dem Spitzenkamm des Konduktors die angezogene  $-E$  auf die Scheibe, während die abgestoßene  $+E$  von der rotierenden Scheibe auf den Konduktor übergeht. Die Scheibe wird also beim Vorübergang bei der Belegung  $b$  mit  $-E$  geladen. Kommt der mit  $-E$  geladene Teil derselben nach einer halben Umdrehung der Scheibe der negativ elektrischen Belegung  $b'$  gegenüber, so wird, umgekehrt wie bei  $b$ , die  $-E$  abgestoßen und begiebt sich nach dem Konduktor  $d'$ , während aus dessen Spitzen  $+E$  auf die Scheibe überströmt. Dieser Wechsel wiederholt sich bei jeder halben Umdrehung der Scheibe, so daß diese vor der Belegung  $b$  jedesmal mit  $-E$ , vor der Belegung  $b'$  jedesmal mit  $+E$  geladen wird, während bei  $b$  die  $+E$  nach dem Konduktor  $d$ , bei  $b'$  die  $-E$  nach dem Konduktor  $d'$  strömt. Stehen beide Konduktoren unter einander in leitender Verbindung, so neutralisieren sich ihre Elektrizitäten fortdauernd, und es findet bei  $e$  ein kontinuierlicher Strom von  $+E$  in der Richtung von  $d$  nach  $d'$  und von  $-E$  in entgegengesetzter Richtung statt.

Es ist bisher vorausgesetzt worden, daß die beiden Belegungen am Anfang des Versuches mit entgegengesetzten Ladungen versehen worden sind, und daß diese Ladungen fortdauernd ungeschwächt erhalten werden, widrigenfalls die Wirkung der Maschine schwächer werden und bald aufhören würde. Die Maschine ist aber so eingerichtet, daß es genügt, anfänglich einer der Belegungen, z. B.  $b$ , eine geringe Ladung von  $+E$  mitzuteilen, indem durch die Bewegung der Maschine selbst die andere Belegung die entgegengesetzte Ladung erhält, und beide Ladungen einander gegenseitig bis zu einem gewissen Maximum fortdauernd verstärken. Zu diesem Zweck dienen die Spitzen der Belegungen  $c, c'$ . Hat sich nämlich die rotierende Scheibe vor der Belegung  $b$  mit  $-E$  geladen, und

kom  
dur  
neg  
Sch  
Ele

Luf  
nuic  
lief  
die  
son  
hoh  
Lad

auf  
Ma  
Kon  
Spit  
mit  
mit  
neg  
wird  
Verl  
legu  
Töp  
selb

sam  
dris  
mit  
der  
Bele  
Zur  
gefir  
Mes  
inne  
wahr  
Die  
mit  
zeiti  
Verl  
dukt  
neut  
wird  
wahr  
weic  
- E

der  
Elek  
und  
eine  
einf

einer

kommt dieselbe nach einer halben Umdrehung vor den Ausschnitt  $A'$ , so wird durch die Spitze  $c'$  ein Teil der  $-E$  aufgesaugt und dadurch die Belegung  $b'$  negativ elektrisch; umgekehrt wird, wenn der positiv geladene Teil der rotierenden Scheibe vor den Ausschnitt  $A$  gelangt, durch Aufsaugung der Spitze  $c$  die positive Elektrizität der Belegung  $b$  verstärkt u. s. f.

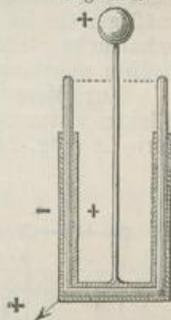
Wird die leitende Verbindung der beiden Konduktoren  $d, d'$  bei  $e$  durch eine Luftstrecke unterbrochen, so geht an dieser Stelle zwischen denselben ein kontinuierlicher, sehr lebhafter Funkenstrom über. Die Influenz-Elektrisirmaschine liefert bei gleichen Dimensionen eine viel größere Menge von Elektrizität, als die gewöhnlichen Maschinen und ist namentlich zur Anstellung aller Versuche besonders geeignet, bei welchen eine sehr reichliche Elektrizitätsentwicklung von hoher Spannung erforderlich ist. Mit Vorteil bedient man sich derselben zur Ladung größerer elektrischer Batterien (§ 278).

Es muß dafür gesorgt werden, daß die entgegengesetzten Elektrizitäten sich auf den Konduktoren  $d, d'$  nicht in zu großer Menge ansammeln, sondern in dem Maße, wie sie sich entwickeln, entfernt werden. Wenn sich nämlich auf einem Konduktor, z. B.  $d$ , die  $+E$  in zu großer Menge ansammelt, so vermögen seine Spitzen nicht mehr die  $+E$  der rotierenden Scheibe aufzunehmen und die Scheibe mit der entgegengesetzten  $-E$  zu laden. Infolgedessen gelangt die Scheibe noch mit  $+E$  geladen vor den Ausschnitt  $A'$  und neutralisiert durch die Spitze  $c'$  die negative Ladung der Belegung  $b'$ , wodurch die Wirkung der Maschine unterbrochen wird. Um dieselbe wieder herzustellen, muß man die Konduktoren  $d, d'$  in leitende Verbindung setzen und, während die Scheibe gedreht wird, einer von beiden Belegungen eine geriebene Kautschukplatte annähern. Seit 1879 werden jedoch von Töpler Influenz-Elektrisirmaschinen konstruiert, durch welche die Elektrizität selbst erzeugt und in gleicher Stärke erhalten wird.

§ 277. Die Leydener oder Kleistsche Flasche dient zur Ansammlung größerer Elektrizitätsmengen. Dieselbe besteht aus einem cylindrischen Glasgefäß (Fig. 244), welches auf der inneren und äußeren Seite mit leitenden Stanniolbelegungen versehen ist, so daß nur ein hinreichender Rand frei bleibt, um die Vereinigung der auf der inneren und äußeren Belegung angesammelten, entgegengesetzten Elektrizitäten zu verhindern. Zur besseren Isolierung wird der Rand gefirnisset. Das Glas ist mit einem gefirnisseten Papp- oder Holzdeckel verschlossen, durch welchen ein starker Messingdraht hindurchgeht, dessen unteres Ende mit der inneren Stanniolbelegung in leitender Verbindung steht, während das obere Ende einen kugelförmigen Knopf trägt. Die Flasche wird geladen, indem man die innere Belegung mit dem Konduktor einer Elektrisirmaschine und gleichzeitig die äußere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung setzt. Wird der inneren Belegung vom Konduktor  $+E$  zugeführt, so wirkt diese verteilend auf die neutrale Elektrizität der äußeren Belegung. Infolgedessen wird auf dieser  $-E$  angesammelt und gebunden (§ 268), während die abgestoßene  $+E$  nach dem Erdboden entweicht. Die auf der äußeren Belegung angesammelte  $-E$  wirkt ihrerseits anziehend und bindend auf die  $+E$  der inneren Belegung, und indem sich so die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten durch gegenseitige Anziehung auf den Glasflächen festhalten und dadurch ihre Zerstreung an die Luft verhindern, kann in der Flasche eine viel größere Elektrizitätsmenge angesammelt werden, als auf einem einfachen Konduktor von gleicher Oberfläche.

Die Flasche wird entladen, indem man beide Belegungen durch einen Metalldraht, oder einen anderen Leiter in Verbindung setzt, wodurch

Fig. 244.



die plötzliche Vereinigung der auf beiden Belegungen angesammelten, entgegengesetzten Elektricitätsmengen herbeigeführt wird.

Die elektrische Flasche wurde im J. 1746 gleichzeitig von v. Kleist zu Kammin in Pommern und von Cuneus und Musschenbroek zu Leyden durch Zufall erfunden. Die richtige Erklärung ihrer Wirksamkeit gab bald darauf Franklin, indem er zugleich zeigte, daß dieselbe durch eine ebene Glastafel ersetzt werden kann, welche auf beiden Seiten bis auf einen ringsum frei bleibenden, gefirniften Rand mit Stanniolbelegungen beklebt ist. Diese einfachere Gestalt ist allerdings wegen der größeren Zerstreung der Elektricität an die Luft weniger praktisch.

Wäre die Glasdicke der Flasche verschwindend klein, so würde eine gewisse Menge  $+E$  auf der inneren Belegung eine gleich große Menge  $-E$  auf der äußeren Belegung festzuhalten imstande sein, und umgekehrt würde die  $+E$  der inneren durch die  $-E$  der äußeren Belegung vollständig gebunden werden. In Wirklichkeit ist jedoch, vermöge des zwischen beiden Belegungen befindlichen Zwischenraums, die Bindung immer eine unvollständige, und infolgedessen muß stets auf einer von beiden Belegungen ein Überschufs von freier Elektricität vorhanden sein, welcher im Verhältnis zu der ganzen angesammelten Elektricitätsmenge um so kleiner ist, je geringer die Glasdicke der Flasche. Derselbe kann am besten sichtbar gemacht werden, indem man eine geladene Flasche, an deren Knopf und äußerer Belegung ein Paar elektrische Pendel angebracht sind, auf eine nichtleitende Unterlage stellt. Durch abwechselnde, ableitende Berührung der inneren und äußeren Belegung kann dann fortgesetzt der Überschufs von freier Elektricität weggenommen werden. Man sieht dann jedesmal bei ableitender Berührung der inneren Belegung das an der äußeren Belegung angebrachte Pendel divergieren und umgekehrt, bis durch eine sehr große Zahl abwechselnder Berührungen die Flasche allmählich entladen wird.

Die gebundenen Elektricitäten halten einander durch gegenseitige Anziehung auf den Glasflächen fest. Ist die Flasche so eingerichtet, daß die aus Blech gebildeten Metallbelegungen vom Glase getrennt werden können, so kann man diese, nachdem die Flasche geladen und ihre Teile aus einander genommen worden, einzeln ableitend berühren. Setzt man darauf die Flasche wieder zusammen, so zeigt sich dieselbe noch geladen, ein Beweis, daß die Elektricitäten nicht auf den Metallbelegungen befindlich waren, sondern auf den beiden Glasflächen hafteten.

§ 278. Elektrische Batterie; Lanesehe Maßflasche. Da sehr große Glasflaschen beim Gebrauch unbequem und leicht zerbrechlich sind, so verbindet man zur Ansammlung sehr großer Elektricitätsmengen mehrere Flaschen von mäßiger Größe zu einer elektrischen Batterie, indem man durch eine gemeinschaftliche, leitende Unterlage alle äußeren Belegungen und ebenso durch Metalldrähte alle inneren Belegungen unter einander in leitende Verbindung setzt.

Zur Messung der in einer Leydener Flasche oder Batterie angesammelten Elektricitätsmenge dient die Lanesehe Maßflasche (1767). Während die Batterie *A* (Fig. 245) vom Konduktor

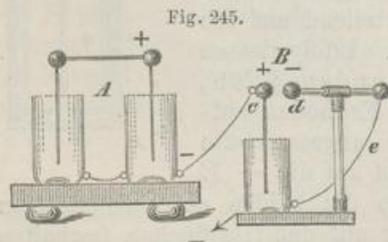
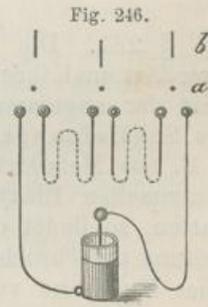


Fig. 245.

aus mit  $+E$  geladen wird, steht ihre durch eine nichtleitende Unterlage isolierte, äußere Belegung mit dem Knopf der Maßflasche *B* in Verbindung. So viel  $-E$  auf der äußeren Belegung der Batterie gebunden wird, so viel  $+E$  geht nach der Maßflasche und ladet diese. Dem Knopf *c* der Maßflasche steht eine Metallkugel *d* gegenüber, welche durch den Draht *e* mit der zum Boden abgeleiteten, äußeren Belegung verbunden ist. Sobald die Ladung der Maßflasche eine gewisse Größe erreicht hat, entladet sich diese von selbst, indem zwischen den Kugeln *c* und *d* ein Funke übergeht. So oft dies während der Ladung der Batterie *A* geschieht, so viel mal ist eine gleiche Menge  $-E$  auf der äußeren Belegung der Batterie gebunden worden. Die Anzahl der Entladungen der Maßflasche giebt also ein Maß für die in der Batterie angesammelte Elektricitätsmenge. Indem man die Entfernung der Kugeln *c* *d* abändert, kann die Maßseinheit, welche durch die Ladung der Maßflasche dargestellt wird, nach Belieben vergrößert und verkleinert werden.

§ 279. Dichtigkeit, Spannung und Quantität der elektrischen Ladung. Es ist zweckmäßig, zwischen der Dichtigkeit und der Spannung der auf einem Leiter angesammelten Elektrizität zu unterscheiden. Hat man z. B. den auf dem Harzkuchen eines Elektrophors (§ 265) stehenden Deckel ableitend berührt, so ist auf der unteren Fläche desselben positive Elektrizität von einer gewissen Dichtigkeit angesammelt, aber dieselbe ist ohne Spannung, oder ihre Spannung ist gleich Null, weil dieselbe durch die Anziehung der  $-E$  der Scheibe gebunden ist. Hebt man jetzt den Deckel von der Scheibe ab, so wird die auf demselben befindliche Elektrizitätsmenge nicht geändert, aber ihre Spannung wächst in dem Maße, als sich der Deckel von dem bindenden Harzkuchen entfernt. In gleicher Weise wird die Spannung der auf der inneren Batteriebelegung angesammelten Elektrizität durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektrizität der äußeren Belegung vermindert und dadurch die Ansammlung einer größeren Elektrizitätsmenge möglich gemacht. Um die Batterie bis zu einer gewissen Spannung zu laden, ist eine um so größere Elektrizitätsmenge erforderlich, je größer die Oberfläche der Belegung und je geringer die Glasdicke ist.

§ 280. Dauer und Geschwindigkeit der Batterieentladung; Einfluss des Schließungsbogens auf die Entladungsweise. Die Dauer des Entladungsfunkens der elektrischen Batterie und der Zeit, welche die Elektrizität braucht, um sich selbst durch meilenlange Drähte fortzupflanzen, ist so gering, daß dieselbe durch die gewöhnlichen Hilfsmittel der Zeitmessung weder gemessen, noch überhaupt wahrgenommen werden kann. Ein in schneller Bewegung begriffener Körper scheint bei Beleuchtung durch den elektrischen Funken zu ruhen (§§ 85, 165). Wheatstone bediente sich (1834) zur Messung der Dauer der Entladung und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität des folgenden Verfahrens: Sechs Kugeln (Fig. 246) waren auf einem Brett in gerader Linie befestigt. Die Kugel 2 war mit 3, die Kugel 4 mit 5 durch Kupferdrähte verbunden, deren jeder  $\frac{1}{4}$  engl. Meile (400 m) lang war. Die Kugeln 1 und 6 konnten durch kurze Drähte mit den beiden Belegungen einer Leydener Batterie in Verbindung gesetzt werden. Bei der Entladung der Batterie erschienen zwischen den drei Kugelpaaren gleichzeitig drei Funken, welche in einer geraden Linie lagen. Vor dem Brett mit den Kugeln war ein Spiegel aufgestellt, welcher mit außerordentlicher Geschwindigkeit um eine der Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte parallele Axe gedreht werden konnte (vergl. §§ 135, 177). Ruhte der Spiegel, so erblickte man in demselben die Bilder der drei Funken als drei in einer geraden Linie liegende Lichtpunkte (Fig. 246a). Drehte sich der Spiegel aber in einer Sekunde 800 mal um seine Axe, so erschienen die Funkenbilder zu drei parallelen Lichtstreifen (Fig. 246b) ausgedehnt, von welchen der mittlere gegen die beiden seitlichen um eine gewisse Strecke im Sinne der Drehung des Spiegels verschoben erschien. Es folgte daraus erstens, daß sich der Spiegel während der Dauer der Entladung um einen gewissen merklichen und meßbaren Winkel gedreht hatte, zweitens, daß die Entladung an der mittleren Unterbrechungsstelle um eine gewisse Zeit später begonnen und geendet hatte, als an den beiden seitlichen, oder daß die Entladung eine meßbare Zeit brauchte, um sich durch den  $\frac{1}{4}$  engl. Meile langen Kupferdraht fortzupflanzen. Wheatstone fand bei seinen



Versuchen die Dauer des Funkens gleich  $\frac{1}{24\,000}$  Sekunde, die Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit der Entladung im Kupferdraht gleich 288 000 engl. Meilen (464 000 km) in einer Sekunde.

Neuere Beobachtungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Ströme in langen Telegraphenleitungen haben jedoch gelehrt, daß von einer bestimmten Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in Drähten überhaupt nicht die Rede sein kann, daß dieselbe vielmehr, aufer von dem Material und dem Widerstand des Leitungsdrahtes, auch von der Länge desselben abhängt, so daß die zur Fortpflanzung eines elektrischen Stromes erforderliche Zeit in schnellerem Verhältnis als die Länge des Drahtes zunimmt. So fanden Fizeau und Gounelle die Geschwindigkeit in einem Eisendraht von 4 mm Durchmesser und etwa 300 km Länge gleich 96 000 km, in einem Kupferdraht von etwa gleicher Länge und 2,5 mm Durchmesser gleich 178 000 km. Mitchell fand in einer 980 km langen Eisendrahtleitung die Geschwindigkeit gleich 46 000 km.

Bei der telegraphischen Längenbestimmung zwischen Brest und St. Pierre (Amerika) fand Hilgard im Februar 1872 bei einer Kabellänge von 4794 km eine Transmissionszeit von 0,35 Sekunden, also die Geschwindigkeit gleich 13 700 km.

Riefs hat gezeigt, daß die Entladung der Batterie nicht in einer einfachen Vereinigung der positiven und negativen Elektrizität besteht, sondern daß dieselbe aus einer Reihe auf einander folgender Partialentladungen zusammengesetzt ist. Die Dauer der Entladung wird wesentlich durch die Länge und Beschaffenheit des Schließungsbogens beeinflusst. Durch Beobachtungen des Funkenbildes im rotierenden Spiegel, sowie durch die Lichterscheinungen am positiven und negativen Pol, bei der Entladung in stark verdünnten Gasen (vergl. § 334) und durch die Art der Einwirkung eines Magnets auf die Entladungserscheinungen haben Feddersen und Paalzow nachgewiesen, daß der Entladungsstrom aus einer Reihe hin und her gehender, abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Ströme zusammengesetzt ist, deren Anzahl mit wachsendem Widerstand des Schließungsbogens abnimmt, während gleichzeitig die Dauer der Entladung wächst. Bei sehr großem Widerstand, z. B. durch Einschaltung einer nassen Schnur, geht die alternierende Entladung in eine einfache über.

§ 281. Die Wirkungen der elektrischen Entladung hängen ihrer Art und ihrem Grade nach einerseits von der Menge und Dichtigkeit der angesammelten Elektrizität, andererseits von der Beschaffenheit des Schließungsbogens ab. Besteht dieser aus lauter guten Leitern, z. B. aus Metalldrähten von hinreichend großem Querschnitt, um der angesammelten Elektrizität einen leichten und schnellen Durchgang zu gestatten, so findet eine sichtbare Wirkung nur an der Stelle statt, wo die Leitung unterbrochen ist, und die Ausgleichung der Elektrizitäten in Form eines Funkens vor sich geht. Bei hinreichender Dichtigkeit der Elektrizität wird ein zwischen die beiden Teile des Schließungsbogens eingeschalteter Nichtleiter gewaltsam durchbrochen (§ 274). Die dabei eintretenden mechanischen Wirkungen sind um so heftiger, je größer die entladene Elektrizitätsmenge ist. Während der einfache Konduktorfunke eine Glasplatte nur mit einer feinen Öffnung durchbohrt, wird dieselbe durch die Entladung einer elektrischen Batterie zersprengt.

Findet die Entladung in Form eines Funkens im Innern einer Flüssigkeit statt, so werden die Teile der Flüssigkeit so gewaltsam aus einander geschleudert, daß das Gefäß leicht zerbricht — namentlich wenn die Flüssigkeit in einer engen Röhre enthalten ist. Läßt man ein Papier- oder Kartenblatt vom Entladungsfunken durchschlagen, so zeigt die feine Öffnung auf beiden Seiten aufgeworfene Ränder, so daß daraus nicht ersichtlich ist, in welcher Richtung die Durchbohrung stattgefunden hat. Stehen aber die beiden Drahtenden, zwischen denen der Funke übergeht, auf beiden Seiten des Papiers einander nicht genau gegenüber, so findet die Durchbohrung immer in der Nähe des mit der negativen Belegung verbundenen Drahtendes statt (Lullins Versuch, 1766). Daß dies aber lediglich von der Beschaffenheit der Papieroberfläche und der durch dieselbe bedingten leich-

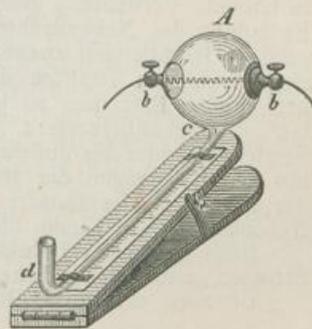
teren Ausbreitung der positiven Elektrizität herrührt, geht daraus hervor, daß, z. B. bei Anwendung von Wachspapier, die Durchbrechung in der Regel an dem positiven Drahtende stattfindet. — Auf ähnliche Weise hat man die Verschiedenheit der sogenannten Lichtenbergschen Figuren (1777) zu erklären versucht, welche mit positiver und negativer Elektrizität erzeugt werden. Dieselben entstehen, wenn man einer Harz- oder Kautschukplatte an einzelnen Stellen durch Berührung mit einem elektrisierten Leiter positive oder negative Elektrizität mitteilt und dieselbe dann mit einem Gemenge von Schwefel- und Mennigepulver bestäubt. Durch gegenseitige Reibung werden die roten Mennigeteilchen positiv, die gelben Schwefelteilchen negativ elektrisch. Erstere sammeln sich daher an den negativ, letztere an den positiv elektrisierten Punkten der Platte. Die dabei entstehenden Figuren sind aber bei der positiven und negativen Elektrizität verschieden, indem erstere von den direkt elektrisierten Punkten aus in baumförmig verzweigten Strahlen sich ausbreitet, während sich die Mennige um die negativ elektrisierten Stellen in mehr rundlich begrenzten Häufchen ansammelt.

§ 282. Wärmewirkung der Entladung. Wird eine hinreichend große Elektrizitätsmenge durch einen dünnen Metalldraht entladen, so bewirkt dieselbe eine Erwärmung des Drahtes (vergl. § 335), welche sich bei sehr dünnen Drähten und großen Elektrizitätsmengen bis zum Glühen und Schmelzen des Drahtes steigern kann. Die stärkeren Grade der Entladungswirkung sind mit einer mechanischen Zerreißen, oder einem gänzlichen Zerstäuben der Substanz des Leiters verbunden, wie dies am besten an Streifen von dünnem Blattgold beobachtet werden kann.

Unter übrigens gleichen Umständen ist die in einem Draht erzeugte Wärmemenge dem Leitungswiderstand des Drahtes direkt proportional (siehe § 319). Die Erwärmung ist also um so größer, je dünner der Draht und aus je schlechter leitendem Metall derselbe besteht. Werden verschiedene Elektrizitätsmengen nach einander durch denselben Draht entladen, so sind, wie Riefs gezeigt hat, die dadurch bewirkten Erwärmungen den Quadraten der Elektrizitätsmengen direkt, der Oberfläche der Batteriebelegung aber umgekehrt proportional. Bezeichnet  $w$  den Widerstand des Drahtes,  $W$  den Widerstand des ganzen Schließungsbogens,  $q$  die entladene Elektrizitätsmenge,  $s$  die Oberfläche der Batteriebelegung, so kann die entwickelte Wärmemenge durch die Formel  $a \frac{w}{W} \cdot \frac{q^2}{s}$  ausgedrückt werden. Der konstante Faktor  $a$  bezeichnet diejenige Wärmemenge, welche durch die Entladung der Elektrizitätsmenge 1 aus einer Batterie mit der Belegung 1 im ganzen Schließungsbogen erzeugt werden würde.

Zur Nachweisung der Gesetze der elektrischen Erwärmung dient das elektrische Luftthermometer von Riefs (1837). Eine hohle Glaskugel  $A$  (Fig. 247) ist an zwei gegenüberliegenden Stellen  $b, b$  durchbohrt und mit luftdicht in die Öffnungen eingekitteten Messingklemmen versehen. Zwischen diesen ist ein spiralförmig gewundener, dünner Platindraht ausgespannt. An die Kugel ist ein enges, bei  $c$  rechtwinklig gebogenes Glasrohr angeschmolzen, an dessen anderem Ende bei  $d$  ein kleines Gefäß angebracht ist. In dieses bringt man einige Tropfen gefärbten Weingeistes und giebt dem Glasrohr mittelst des Brettchens, auf welchem dasselbe befestigt ist, eine geringe Neigung gegen den Horizont, so daß der Weingeist in der Röhre bis zu einem Punkt emporsteigt, welcher an einer auf dem Brettchen angebrachten Skala abgelesen werden kann. An der Glaskugel ist noch eine durch einen Stöpsel verschließbare Öffnung angebracht, mittelst deren vor jedem Versuch der Druck der Luft in der Kugel mit dem der Atmosphäre ins Gleichgewicht gebracht werden kann. Wird der Entladungsstrom einer Batterie durch den Draht  $bb$  geleitet, so wird dieser erwärmt, giebt die entwickelte Wärme sogleich an die umgebende Luft ab und bewirkt dadurch eine Ausdehnung der Luft und ein Sinken

Fig. 247.



der Weingeistsäule in der Röhre *cd*, aus dessen Größe auf die entwickelte Wärmemenge geschlossen werden kann. Indem man nun entweder die Elektrizitätsmenge und die Oberfläche der Batterie, oder die Beschaffenheit des Schließungsbogens abändert, können die oben angegebenen Gesetze nachgewiesen werden.

Explosive Gasmischungen und leicht brennbare Flüssigkeiten werden durch den Batteriefunken, wie durch den einfachen Funken des Konduktors entzündet. Um Schießpulver durch den Entladungsschlag der Batterie zu zünden, muß man die Entladung durch Einschaltung einer nassen Hanfschnur in den metallischen Schließungsbogen verzögern, weil sonst die Pulverteile gewaltsam aus einander geschleudert, aber nicht entzündet werden. Leichter und sicherer gelingt die Zündung eines innigen Gemenges von chlorsaurem Kali und Schwefelantimon mit einem geringen Zusatz von gepulvertem Graphit. Man bedient sich dieses Zündsatzes für die Patronen zur elektrischen Zündung von Minen. (Bei Bereitung des höchst explosiven Gemenges ist große Vorsicht erforderlich, die Substanzen müssen einzeln fein gerieben und erst dann sehr vorsichtig gemischt werden, da die Explosion des Gemenges schon durch bloße Reibung, oder einen Schlag herbeigeführt werden kann.)

§ 283. Die Wirkung der Batterieentladung auf den menschlichen und tierischen Körper ist dieselbe, wie die der Konduktor-entladung der Elektrisiermaschine (§ 273), nur in verstärktem Maßstabe. Jedes Sinnesorgan wird durch dieselbe in seiner eigentümlichen Weise affiziert, indem sich die Wirkung als Nervenreizung äußert. Ein märsiger, durch beide Hände und Arme geleiteter Entladungsschlag bewirkt eine eigentümliche, unangenehme Empfindung in den Handgelenken und bei stärkerer Ladung auch in den Ellbogengelenken. Der Entladungsschlag kann sich durch eine lange Reihe von Personen fortpflanzen. — Durch Reizung der Bewegungsnerven werden krampfartige Zuckungen der entsprechenden Muskeln veranlaßt, und wenn insbesondere die Centralorgane des Nervensystems, Gehirn und Rückenmark, von einer starken Entladung getroffen werden, so kann Betäubung und Tod durch Nervenlähmung eintreten (vergl. §§ 290, 345).

§ 284. Induktionsströme durch Reibungselektricität. Werden zwei Drähte parallel neben einander ausgespannt und wird durch einen derselben der Entladungsstrom einer Leydener Batterie geleitet, so wird dadurch in dem anderen Draht, auch wenn er von dem ersten völlig isoliert ist, ein elektrischer Strom erregt, welcher Induktions- oder Nebenstrom genannt wird. Damit derselbe zur Wirkung komme, müssen die Enden des Nebendrahtes unter einander in leitende Verbindung gesetzt, oder einander so weit genähert werden, daß die Entladung des Nebendrahtes durch einen Funken zustande kommen kann. Um größere Drahtlängen anzuwenden und dadurch stärkere Nebenströme zu erzeugen, giebt man den Drähten die Gestalt zweier flachen Spiralen, welche auf zwei kreisrunden Brettchen so befestigt sind, daß ihre Windungen einander parallel laufend gegenübergestellt werden können. Die Enden des einen Spiraldrahtes werden einander bis auf einen geringen Abstand genähert, die des anderen können mit den Belegungen der Batterie in Verbindung gesetzt werden. Im Augenblick der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht geht zwischen den Enden des Nebendrahtes ein Funke über. (Spirale von Riefs, 1853.)

Die Gesetze der Induktionsströme werden in der Lehre von den galvanischen Strömen ausführlicher behandelt (§ 330).

Über die magnetischen Wirkungen elektrischer Ströme siehe § 321.

§ 285. Verschiedene Arten der Elektrizitätserregung. Außer durch Reibung (§ 263) kann durch andere mechanische Vorgänge Elektrizität erregt werden. So zeigt ein Glimmerblatt beim Spalten, ein Stück Kreide oder Zucker beim Zerbrechen im Dunkeln einen vorübergehenden Lichtschein, welcher, wie das Elektroskop nachweist, von Elektrizität herrührt. Harze, Korkstücke, Kalkspatkrystalle werden durch Druck zwischen

den Fingern oder gegenseitigen Druck in ähnlicher Weise elektrisch, wie beim Reiben. Von der Elektricitätsentwicklung durch Berührung verschiedener Stoffe wird unten (§ 304) ausführlich die Rede sein.

Volta und Saussure glaubten eine Entwicklung von Elektricität bei der Verdampfung des Wassers beobachtet zu haben. Im Jahre 1840 erhielt der Wärter einer Dampfmaschine bei Newcastle, als er eine Hand in den aus dem Sicherheitsventil ausströmenden Dampfstrahl hielt und gleichzeitig mit der anderen Hand dem Metallhebel des Ventils nahe kam, eine heftige Erschütterung, und Armstrong stellte infolgedessen seine Dampfelektrisiermaschine her. Aus einem durch Glasfüße isolierten Dampfkessel strömt ein Dampfstrahl aus, dessen Elektricität mittelst eines mit Spitzen versehenen Einsaugers auf einem isolierten Konduktor angesammelt wird. Der Dampfkessel wird dabei negativ, der ausströmende Dampf positiv elektrisch. Die Untersuchungen von Faraday (1843) haben jedoch zu dem Ergebnis geführt, daß die hierbei, sowie bei den von Volta und Saussure angestellten Versuchen beobachtete Elektricitätsentwicklung nicht von der Dampfbildung, sondern von der Reibung des mit flüssigen Wassertropfen vermischten Dampfes an den Wänden des Gefäßes oder der Ausflusströhre herrührt.

§ 286. Pyroelektricität der Krystalle. An gewissen Krystallen wird eine Entwicklung von Elektricität durch Temperaturveränderung beobachtet. Zu diesen Krystallen, welche man wegen dieser Eigenschaft pyroelektrisch nennt, gehört z. B. der Turmalin. Seit dem Anfang des vorigen Jahrhunderts hatte man an den säulenförmigen Turmalinkrystallen die Eigenschaft wahrgenommen, daß dieselben, auf heiße Asche gelegt, die Aschenteilchen anzogen und wieder abstießen. Äpinus nahm wahr, daß die beiden Enden oder Pole des Krystalls beim Erwärmen entgegengesetzt elektrisch werden, und Canton zeigte, daß dasselbe Ende des Krystalls, welches während des Erwärmens positive Elektricität zeigt, beim Erkalten negativ elektrisch wird und umgekehrt. Man nennt denjenigen Pol, der beim Erwärmen positiv, beim Erkalten negativ elektrisch wird, den analogen, den anderen den antilogen Pol. Die elektrischen Eigenschaften des Turmalins und anderer Krystalle stehen in engem Zusammenhang mit ihrer molekularen Struktur, wie daraus hervorgeht, daß alle pyroelektrischen Krystalle eine besondere Art der Hemiëdrie ihrer Krystallformen erkennen lassen, infolge deren beide Enden des Krystalls eine verschiedenartige Ausbildung erhalten.

So krystallisiert z. B. der Turmalin in der Regel in neunseitigen Säulen, die durch Kombination einer sechsseitigen und einer dreiseitigen Säule entstehen (§ 25, 3). An jedem Ende ist die Säule durch 3 Rhomboederflächen zugespitzt; dieselben erscheinen aber an dem einen Ende (dem analogen Pol) auf die Flächen der dreiseitigen Säule, am anderen Ende (dem antilogen Pol) auf die Kanten der sechsseitigen Säule aufgesetzt. Das Kieselzinkerz krystallisiert in rhombischen Prismen, die am analogen Pol durch eine horizontale Endfläche; am antilogen Pol durch die Flächen eines Rhombenoktaeders begrenzt sind (§ 25, 4). Der Borazit zeigt würfelförmige Krystalle; von den 8 Würfecken sind 4 abwechselnde durch die Flächen eines Tetraeders abgestumpft. Diese bilden 4 antiloge Pole, während die vier nicht abgestumpften Würfecken ebensovielen analoge Pole sind u. s. f. (§ 24).

§ 287. Atmosphärische Elektricität. Die elektrische Natur des Gewitters ist mit Sicherheit zuerst von Franklin (1749) erkannt und durch einen seinem Vorschlage entsprechenden Versuch von d'Alibard (1752) in Marly-la-ville bei Paris nachgewiesen worden. Indem auf freiem Felde eine hohe, oben zugespitzte und am unteren Ende isolierte Metallstange aufgestellt wurde, welche die Elektricität der darüber befindlichen

Gewitterwolken aufsaugte, konnte man vom unteren Ende der Stange elektrische Funken erhalten und mittelst der so gesammelten Elektricität alle bekannten, elektrischen Erscheinungen hervorbringen. Um die Wolkenelektricität in größerer Menge zur Erde herabzuleiten, bediente sich Franklin und nach ihm de Romas (1753) des „elektrischen Drachens“. Dieser war nach Art des bekannten Kinderspielzeuges eingerichtet, aber anstatt des Papiers mit Seidenzeug bespannt und mit einer Metallspitze versehen. Durch die vom Regen durchfeuchtete, oder besser mit Draht durchflochtene Schnur wurde die leitende Verbindung mit dem Erdboden hergestellt. Indem de Romas das untere Ende der Schnur mit einem isolierten Konduktor verband, konnte er, als eine Gewitterwolke an dem Drachen vorbeizog, von dem Konduktor drei Meter lange und scheinbar zollstarke, elektrische Funken erhalten, die von einem betäubenden Geräusch begleitet waren.

Die weiteren Untersuchungen haben gelehrt, daß die Atmosphäre nicht nur zur Zeit eines Gewitters, sondern selbst bei heiterem Himmel stets mit Elektricität geladen ist. Um dies nachzuweisen und die Veränderungen des elektrischen Zustandes der Atmosphäre zu untersuchen, bediente sich Saussure eines empfindlichen Elektroskops (§ 266), auf welchem ein langer, oben zugespitzter Draht befestigt war. — Anstelle der Spitze wendete Volta mit Vorteil einen brennenden oder glimmenden Körper an, der am oberen Ende des Leiters befestigt wurde. — Auf anderen Prinzipien, besonders auf der elektrischen Influenz, beruhende Apparate zur Beobachtung und Messung der Luftelektricität sind in neuerer Zeit von Peltier, Dellmann, Thomson u. a. angegeben worden.

Die Beobachtungen haben gelehrt, daß die Luftelektricität bei heiterem Himmel fast stets positiv ist und daß dieselbe regelmässige, tägliche und jährliche Änderungen erleidet. Im Sommer ist dieselbe im allgemeinen geringer als im Winter. — Die Elektricität der Wolken ist bald positiv, bald negativ und namentlich bei einem Gewitter schnellem und regellosem Wechsel unterworfen. — Der Ursprung der Luft- und Wolkenelektricität ist noch nicht mit hinreichender Sicherheit aufgeklärt. Der Umstand, daß die intensivsten elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre von massenhaften, wässerigen Niederschlägen begleitet zu sein pflegen, scheint auf einen Zusammenhang zwischen der Elektricitätserrregung und der Kondensation des Wasserdampfes hinzudeuten, der jedoch experimentell noch nicht nachgewiesen werden konnte.

§ 288. Gewitter. Am gewaltigsten äußert sich die atmosphärische Elektricität in den Erscheinungen des Gewitters. Dieses tritt in der Regel in Begleitung reichlicher Niederschläge der atmosphärischen Feuchtigkeit auf. Die heftigsten Gewitter finden in der Regenregion der Tropenzone statt (§ 253). In der gemäßigten Zone treten sie meist bei plötzlichem Wechsel der Windrichtung ein, namentlich wenn der Äquatorialstrom durch den Polarstrom verdrängt und durch die plötzliche Abkühlung ein beträchtlicher, wässriger Niederschlag bewirkt wird (§ 256).

Häufig ist das Gewitter von Hagelschlag (§ 261) begleitet. Im mittleren und nördlichen Europa finden die meisten Gewitter während des Sommers statt; doch gehören Wintergewitter, wenn sie eintreten, in der Regel zu den schwersten.

§ 289. Blitz und Donner. Die Entladung der angesammelten Wolkenelektricität, entweder zwischen zwei Wolken, oder zwischen Wolke und Erdoberfläche, geschieht in Gestalt des Blitzes. Man unterscheidet, nach Arago, drei Arten des Blitzes, den Zickzack-, Flächen- und Kugelblitz. Der Zickzackblitz entspricht am meisten dem elektrischen Funken unserer Elektrisiermaschine, dem er in der kurzen Dauer, der scharf begrenzten und unregelmässig im Zickzack gebrochenen, selten verzweigten Form gleicht. Man beobachtet häufig Blitze, deren Länge mehr als tau-

send  
Blitz  
mehr

wor  
Dau  
bei

nich  
mäfs  
ist i  
leu

sphä  
samm  
mit  
sich  
befin  
aber  
Blitz

sehr  
Entla  
kam  
fallen  
lierte  
der G  
Gesta  
Platin  
des S  
schie  
Plant  
über  
in ho

bewi  
Donn  
um  
zupf  
werd  
teils  
Scha  
Ohr  
Wol

dene  
stärk  
stark  
eisern  
Häuf  
in Be  
wurd

send Meter beträgt. Petit will zu Toulouse einen 17 Kilometer langen Blitzstrahl beobachtet haben. — Der Zickzackblitz ist von einem lauten, mehr oder minder lange andauernden, rollenden Donner begleitet.

Über die Dauer des Blitzes sind Untersuchungen von Rood angestellt worden. Die Blitzentladung ist gewöhnlich, wenn nicht immer, vielfach, und die Dauer der Einzelbestandteile schwankt zwischen 0,001" und 0,03", und zwar selbst bei den Komponenten eines und desselben Blitzes.

Der Flächenblitz ist ebenfalls von sehr kurzer Dauer, zeigt aber nicht einen scharf begrenzten Lichtstreif, sondern eine plötzliche, gleichmäßige Erleuchtung der Wolkenfläche in bedeutender Ausdehnung und ist in der Regel nicht von Donner begleitet — das sogenannte Wetterleuchten gehört hierher.

Der Kugelblitz, eine höchst eigentümliche Erscheinung der atmosphärischen Elektrizität, besteht in einer feurigen, meist kugelförmig zusammengeballten Masse, welche mehrere Sekunden lang sichtbar bleibt, mit verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit auf die Erde herabsinkt, sich oft eine längere Strecke hindurch längs der an der Erdoberfläche befindlichen Körper fortbewegt, ohne dieselben zu beschädigen, endlich aber unter heftiger Explosion, die von den gewöhnlichen Wirkungen des Blitzes begleitet ist, zerplatzt.

Eine Reihe von Versuchen, welche G. Planté (1878) mit elektrischen Strömen sehr hoher Spannung angestellt hat — er bediente sich eines Apparates, dessen Entladungsstrom ungefähr dem von 1200 Bunsenschen Elementen (§ 311) gleichkam — führte zu Erscheinungen, die mit den kugelförmigen Blitzen die auffallendste Ähnlichkeit zeigten. Planté hatte den positiven Leitungsdraht in destilliertes Wasser getaucht und näherte den negativen Platindraht auf einen Moment der Oberfläche des Wassers; es entstand eine gelbe Flamme von fast kugelförmiger Gestalt, ungefähr 2 cm im Durchmesser haltend; zugleich schmolz der 2 mm dicke Platindraht. Um dieses Schmelzen zu vermeiden, verminderte er die Intensität des Stromes, indem er in die Kette eine Wassersäule einschaltete. Nunmehr erschien der Funke in der Form einer Feuerkugel von 8—10 mm im Durchmesser. Planté erklärt darum die Kugelblitze als herrührend von dem Auftreten eines überreichen Stromes von Elektrizität im dynamischen Zustand, der sich zugleich in hoher Spannung befindet.

Der Donner hat seinen Grund unzweifelhaft in der durch den Blitz bewirkten, intensiven Lufterschütterung. Die Zeit zwischen Blitz und Donner ist um so größer, je entfernter der Blitzstrahl ist, da der Schall um so längere Zeit braucht, um sich bis zum Ohr des Beobachters fortzupflanzen (§ 121). Die lange Dauer und das abwechselnd schwächer werdende und sich wieder verstärkende Rollen des Donners erklären sich teils durch die große Ausdehnung des Blitzstrahles, infolge deren der Schall von verschiedenen Punkten seiner Bahn nicht gleichzeitig zum Ohr gelangt, teils durch Reflexion des Schalls an Bergen, Gebäuden, Wolken u. dergl.

§ 290. Wirkungen des Blitzes. Die Wirkungen des Blitzes entsprechen denen der Entladung der Leydener Batterie (§§ 281—283), jedoch in sehr verstärktem Maße. Metallische Leiter werden, wenn sie nicht hinreichend stark sind, geschmolzen. Arago teilt einen Fall mit, wo eine 42 m lange, eiserne Kette, deren Glieder 7 mm dick waren, vollständig geschmolzen wurde. Häufig werden nur die Kettenglieder zusammengeschweisft. Geldstücke wurden in Beuteln, Messer in der Scheide geschmolzen, ohne daß die Umhüllung zerstört wurde. Eine Folge der durch den Blitz erzeugten Schmelzung sind die soge-

nannten Blitzröhren, welche entstehen, wenn der Blitz in Sandboden schlägt. Dieselben erscheinen inwendig durch die Schmelzung verglast, außen rauh, aus zusammengesinterten Sandkörnchen gebildet.

Eine sehr häufige Wirkung des Blitzes ist die Zündung brennbarer Stoffe, welche namentlich erfolgt, wenn der Blitz durch schlechte Leitung in seinem Gange verzögert wird. Sehr häufig bleibt jedoch die Zündung aus (sogenannter kalter Schlag).

Heftige mechanische Wirkungen des Blitzes äußern sich, wie bei der Batterieentladung, vorzugsweise an Unterbrechungsstellen guter Leiter. Arago erzählt, daß i. J. 1762 von einem Kirchturm in Cornwall durch den Blitz ein 3 Centner schwerer Stein 58 m, ein anderer, kleinerer 390 m weit fortgeschleudert wurde. In einem Hause bei Manchester wurde im J. 1809 eine 1 m dicke, 4 m hohe Mauer, deren Gewicht ungefähr 26000 kg betrug, an einem Ende um 1,3 m, am anderen um 3 m von ihrer früheren Stelle verschoben. Eigentümlich äußert sich häufig die Wirkung des Blitzes auf Bäume. Bisweilen werden dieselben nur teilweise oder ganz ihrer Rinde beraubt, oft aber wird auch das Holz in lange, dünne Latten zersplittert, oder in besenartige Faserbündel zerschlitzt. Franklin erklärt diese Erscheinungen durch plötzliche Verdampfung des im Holz enthaltenen Saftes. Oft läuft der Blitz äußerlich an der Rinde in einer Schraubenlinie herab, oder bewirkt an Baumstämmen, Pfählen u. dgl. eine schraubenförmige Drehung um ihre Axe.

Eisen- und Stahlstücke werden durch den Blitzschlag öfters magnetisiert, die Pole vom Blitz getroffener Magneten wurden umgekehrt.

Innerhalb geschlossener Räume, durch welche ein Blitzstrahl gedrunge ist, bemerkt man gewöhnlich einen eigentümlichen Geruch, der oft als Schwefelgeruch bezeichnet wird. Derselbe erklärt sich durch die Umwandlung des atmosphärischen Sauerstoffs in Ozon und Bildung von salpetriger Säure (§ 273).

Die Wirkung des Blitzschlages auf den menschlichen und tierischen Körper besteht teils in äußeren Verletzungen, Kontusionen, Schwärzung der Haut, Anschwellung der getroffenen Gliedmaßen u. s. w., teils in einer unmittelbaren Erschütterung des Nervensystems, welche vorübergehende Bewußtlosigkeit, Lähmungen, oder den augenblicklichen Tod zur Folge haben kann. Dieser erfolgt oft ohne alle sichtbaren Spuren äußerer Verletzung.

§ 291. Blitzableiter. Der von Benjamin Franklin (1749) erfundene Blitzableiter besteht in einer auf dem höchsten Punkt des vor dem Blitzschlag zu schützenden Gebäudes aufgerichteten Metallstange, welche oben in eine Spitze endet, und deren unteres Ende durch eine hinreichend starke, metallische Leitung mit dem Erdboden in Verbindung steht. Man verfertigt die Spitze in der Regel aus Platin, oder verguldet dieselbe, um sie gegen Zerstörung durch atmosphärische Einflüsse zu schützen. Die Erdleitung muß in hinreichende Tiefe geführt sein, um das Grundwasser des Erdbodens zu erreichen, wenn man sie nicht mit fließendem Wasser in leitende Verbindung setzen kann. Größere Metallmassen am Gebäude, wie Kirchenglocken, Metaldächer u. dergl., müssen mit dem Blitzableiter in leitende Verbindung gesetzt werden. — Ist die Spitze des Blitzableiters in gutem Zustande und die Leitung vollkommen, so schützt derselbe nicht nur vor den Wirkungen des Blitzes, sondern verhindert auch seine Entstehung, ebenso wie eine dem Konduktor einer Elektrisiermaschine gegenüber gehaltene Nadelspitze das Zustandekommen der Funkenentladung verhindert, indem die angesammelte Influenzelektricität entgegengesetzter Art sogleich durch die Spitze nach der Wolke, oder nach dem Konduktor ausströmt und deshalb die Ansammlung entgegengesetzter Elektricitäten, welche der Funkenentladung immer vorangehen muß, nicht stattfinden kann. Da die Entladung immer nach dem hervorragendsten, also höchsten Teile des Gebäudes gerichtet ist, so schützt der Blitzableiter die umgebenden, tieferen Teile. Man nimmt an, daß die schützende Wirkung sich

auf einen Umkreis erstreckt, dessen Halbmesser der doppelten Höhe des Blitzableiters gleich ist.

Richmann in St. Petersburg wurde 1753 bei Untersuchung der elektrischen Natur des Gewitters an einem unterbrochenen Blitzableiter vom Blitz erschlagen.

Das sogenannte St. Elmsfeuer, welches sich nicht selten an den Spitzen der Blitzableiter, an Schiffsmasten u. s. w. bei Gewittern zeigt, besteht in einem leuchtenden Ausströmen der auf dem in eine Spitze endenden Leiter angesammelten Influenzelektricität (vergl. § 303).

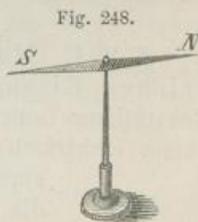
## 2. Magnetismus.

§ 292. **Natürliche Magnete.** Die Eigenschaft des Magnetismus ist zuerst an gewissen Eisenerzen, namentlich dem Magneteisenerz, bemerkt worden. Eisenteilchen werden von einem solchen natürlichen Magnet angezogen und haften an demselben. Diese Anziehung äußert sich in der Regel vorzugsweise an einzelnen Stellen des natürlichen Magnets, welche man Pole nennt, während sich zwischen diesen Stellen eine indifferente Stelle befindet, wo der Magnet keine Anziehung ausübt. Dies kann am besten durch Aufstreuen von Eisenfeilspänen sichtbar gemacht werden, welche an den Polen haften bleiben, an den übrigen Punkten aber abfallen.

Das Magneteisenerz ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) krystallisiert in schönen, regelmässigen Oktaedern, findet sich aber am häufigsten in dichten, krystallinischen Massen, in beträchtlicher Ausdehnung namentlich in Schweden, Lappland und Chile. Dasselbe erlangt die magnetischen Eigenschaften in der Regel erst, nachdem es einige Zeit an der Luft gelegen hat.

§ 293. **Künstliche Stahlmagnete, Magnetnadel, Nord- und Südmagnetismus.** Die Eigenschaft des Magnetismus kann von dem natürlichen Magnet auf einen Stahlstab übertragen und dadurch ein künstlicher Stahlmagnet hergestellt werden, indem man die beiden Enden des Stahlstabes wiederholt mit den entgegengesetzten Polen eines natürlichen Magnets bestreicht (§ 294). Ein solcher künstlicher Magnet besitzt, wie der natürliche, zwei an den entgegengesetzten Enden liegende Pole, deren Verbindungslinie die magnetische Axe genannt wird. Wird ein Magnetstab in horizontaler Lage so aufgehängt, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, so nimmt seine Axe eine annähernd von Nord nach Süd gerichtete Lage an (s. § 298). Man giebt dem Magnet behufs dieses Versuches am zweckmässigsten die Form einer Magnetnadel (Fig. 248), d. h. eines dünnen, flachen, in der Regel nach den Enden hin in Form eines schmalen Rhombus zugespitzten Stahlstäbchens, welches entweder an einem Seidenfaden aufgehängt, oder mittelst eines Hütchens auf einer Stahlspitze in horizontaler Lage sich frei drehen kann (Gilbert, 1600). Man unterscheidet die Pole der Magnetnadel nach der Richtung, welche sie annehmen, als Nordpol und Südpol. Wird eine zweite Stahlnadel durch Streichen mit den Polen eines Magnetstabes magnetisiert, so wird das mit dem Nordpol des Magnetstabes bestrichene Ende zum Südpol, das mit dem Südpol bestrichene Ende zum Nordpol der Magnetnadel (§ 294).

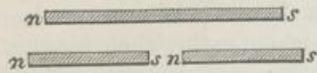
Werden einer frei schwebenden Magnetnadel die Pole einer zweiten



Magnetnadel oder eines Magnetstabes genähert, so wird der Nordpol der Magnetnadel vom Nordpol des Magnetstabes abgestoßen, vom Südpol aber angezogen. Umgekehrt wird der Südpol der Magnetnadel vom Südpol abgestoßen, vom Nordpol aber angezogen, oder: Zwischen zwei gleichnamigen Magnetpolen findet Abstoßung, zwischen ungleichnamigen Polen aber Anziehung statt.

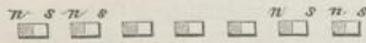
Es ist nicht möglich, einen Magnet herzustellen, welcher nur Nordmagnetismus oder nur Südmagnetismus, oder einen der beiden Magnetismen in größerer Menge als den anderen enthält. Wird ein magnetisierter Stahlstab *ns* (Fig. 249), welcher an einem Ende einen Nordpol, an dem andern einen Südpol besitzt, an

Fig. 249.



irgend einer Stelle zerbrochen, so findet man, daß jedes der beiden Bruchstücke wieder ein vollständiger Magnet mit zwei gleich starken Polen ist, indem an der Trennungsstelle zwei neue Pole entstanden sind. Eine derartige Teilung kann mit dem gleichen Erfolg beliebig fortgesetzt werden, jedes noch so kleine Bruchstück des Magnetstabes bildet wieder einen vollständigen Magnet mit zwei Polen. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Annahme, daß die Trennung der Magnetismen nur auf den kleinsten Molekülen des Stabes stattfindet, so daß der magnetisierte Stab als ein Aggregat von magnetischen Molekülen oder Molekularmagneten zu betrachten ist. Denkt man sich, der Einfachheit halber, daß der Stab nur aus einer einzigen Reihe gleich stark magnetischer Moleküle (Fig. 250) bestehe, so werden überall auf der ganzen Länge des Stabes, wo zwei entgegengesetzte Pole magnetischer Moleküle

Fig. 250.

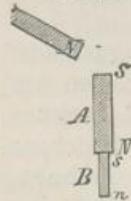


zusammenstoßen, dieselben sich in ihrer anziehenden und abstoßenden Wirkung nach außen hin neutralisieren, und nur an den beiden Enden des Stabes werden die freien Pole der letzten Moleküle vorzugsweise wirksam bleiben. Wird jedoch der Stab an irgend einer Stelle zerbrochen, so kann die Trennung nur zwischen zwei Molekülen stattfinden, es werden also an den Bruchflächen zwei neue, entgegengesetzte und gleich starke Pole hervortreten.

Die später zu entwickelnde Ampèresche Theorie (§ 329) führt die magnetischen Erscheinungen auf elektrische Ströme im Innern der magnetisierten Körper zurück.

§ 294. Magnetische Influenz, verschiedenes Verhalten des weichen Eisens und des Stahls, Koercitivkraft. Wie ein unelektrischer Leiter bei Annäherung eines elektrisierten Körpers durch Influenz elektrisch wird (§ 267), so wird ein Stück Eisen bei Annäherung eines Magnetpols selbst in einen Magnet verwandelt, indem die neutral magnetischen Eisenmoleküle durch die Anziehung und Abstoßung des Magnetpols sich so anordnen, wie bei einem Magnet (§ 293). Ein Eisenstück wird also von einem Magnet angezogen und haftet an demselben, weil es selbst in einen Magnet verwandelt wird. Es findet jedoch hierbei ein Unterschied in dem Verhalten des weichen Schmiedeeisens und des gehärteten Stahls statt. Wird einem weichen Eisenstück *A* (Fig. 251) der Nordpol eines Magnets genähert, so wird dasselbe in einen Magnet verwandelt und befähigt, seinerseits ein anderes Stück weichen Eisens *B* anzuziehen und festzuhalten u. s. f. Bei Entfernung des Magnetpols verschwindet jedoch der Magnetismus in *A* vollständig, und das Eisenstück *B* fällt herab. Ein Stab von gehärtetem Stahl dagegen nimmt bei gleich starker magnetisierender Einwirkung nur einen viel geringeren Magnetis-

Fig. 251.



Man stellt sich vor, daß ein Eisenstück *A* aus einer Reihe von Molekülen besteht, die durch die Anziehung des Magnetpols in einer Reihe angeordnet sind. Ein weiteres Eisenstück *B* wird durch die Anziehungskraft von *A* angezogen und festgehalten. Bei Entfernung des Magnetpols verschwindet der Magnetismus in *A* vollständig, und das Eisenstück *B* fällt herab. Ein Stab von gehärtetem Stahl dagegen nimmt bei gleich starker magnetisierender Einwirkung nur einen viel geringeren Magnetis-

mus an, als das weiche Eisen, oder verlangt umgekehrt, um gleich starken Magnetismus anzunehmen, eine weit stärkere, magnetisierende Einwirkung, z. B. durch wiederholtes Streichen mit starken Magnetpolen. Hat er aber einmal den magnetischen Zustand erlangt, so behält er denselben fast vollständig, auch nach dem Aufhören der magnetisierenden Ursache.

Man kann sich vorstellen, daß sowohl im weichen Eisen als im Stahl die Moleküle ungeordnet durch einander liegen, daß aber unter Einwirkung eines Magnets die Eisenmoleküle verhältnismäßig leicht so gerichtet werden, daß sich das Eisen magnetisch zeigt, während die Stahlmoleküle ihrer magnetischen Anordnung einen gewissen Widerstand entgegensetzen. Ist dieser Widerstand überwunden und der Stahl magnetisch geworden, so halten die Stahlmoleküle nach Beseitigung des erregenden Magnets ihre magnetische Anordnung und Richtung mit einer gewissen Energie fest, welche man mit dem Namen der Koercitivkraft bezeichnet; das weiche Eisen dagegen wird sofort wieder fast ganz unmagnetisch. Je größer die Koercitivkraft einer Stahlsorte ist, desto mehr ist dieselbe zur Anfertigung dauernder Magnete geeignet.

Um durch Streichen mit einem Magnet einen Stahlstab magnetisch zu machen, setzt man den Magnet mit dem einen Pol auf die Mitte des zu magnetisierenden Stabes und streicht mit ihm bis an das eine Ende des Stabes, hebt hier den Magnet ab und setzt ihn dann von neuem in der Mitte auf und wiederholt öfter das Streichen von der Mitte bis zum Ende auf derselben Seite des Stabes; dann aber streicht man auf gleiche Weise mit dem andern Pol die andere Hälfte des Stabes. Dasjenige Ende des letzteren erhält dadurch den Nordpol, welches mit dem Südpol gestrichen ist, und umgekehrt (§ 293).

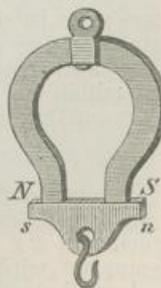
Ein Magnetstab verliert in der Rotgluthitze seine magnetischen Eigenschaften, ebenso weiches Eisen bei einer Erhöhung seiner Temperatur bis auf 680—770° C.

Außer dem Eisen und einigen seiner chemischen Verbindungen (Magneteseisenstein, Titaneisen) sind nur das Kobalt und Nickel fähig, in stärkerem Grade vom Magnet angezogen zu werden, oder selbst bleibenden Magnetismus anzunehmen. Einen schwächeren Grad magnetischer Einwirkung hatte man schon früher an einer Anzahl von Mineralsubstanzen wahrgenommen, die zum Teil keines der angeführten Metalle enthielten. Aber erst seitdem durch Anwendung des Elektromagnetismus viel stärkere, magnetisierende Kräfte als früher zu Gebote stehen, ist es zuerst Faraday gelungen, nachzuweisen, daß fast alle Körper bei hinreichend starker, magnetisierender Kraft eine Einwirkung erfahren, wenngleich größtenteils eine viel geringere, als die drei genannten Metalle. Doch fand Faraday eine merkwürdige Verschiedenheit, indem manche Körper zwischen den Polen eines starken Elektromagnets eine Anziehung, andere eine Abstößung erfahren. Die ersteren verhielten sich magnetisch, wie weiches Eisen, nur in viel schwächerem Grade, die letzteren nannte Faraday diamagnetisch (siehe unten § 322).

### § 295. Verschiedene Formen der Magnete.

Man giebt den Magneten in der Regel entweder die Gestalt gerader, prismatischer Stäbe von rechteckigem Querschnitt oder, um beide Pole gleichzeitig zur Wirkung zu bringen, die Hufeisenform. Vor den Hufeisenmagnet wird ein Anker von weichem Eisen *ns* (Fig. 252) gelegt, an welchem das zu tragende Gewicht aufgehängt wird. Das weiche Eisenstück wird durch Influenz hier um so stärker magnetisiert, da beide Pole einander in ihrer Einwirkung unterstützen. Der Magnet trägt daher, auf diese Weise armiert, weit mehr als das doppelte des Gewichts, welches jeder Pol für sich einzeln zu tragen

Fig. 252.



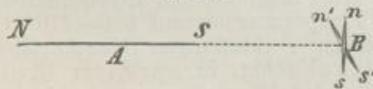
imstande ist. Zu weiterer Verstärkung der Wirkung vereinigt man mehrere hufeisenförmige Lamellen zu einem magnetischen Magazin.

Man hat es vorteilhaft gefunden, die einander berührenden Flächen des Magnets und des Ankers nicht eben, sondern schwach cylindrisch abzuschleifen, so daß sie einander nur längs einer Linie berühren. — Auch die Wirkung natürlicher Magnete kann verstärkt werden, indem man dieselben nach Art eines Hufeisenmagnets armiert. An den Polflächen des natürlichen Magnets werden zwei weiche Eisenstücke angelegt und deren vorstehende Enden durch einen Anker von weichem Eisen verbunden.

§ 296. Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstofsung. Für die magnetische Anziehung und Abstofsung gilt, nach den Versuchen von Coulomb, wie für die elektrische (§ 271), das Gesetz, daß die magnetischen Anziehungen und Abstofsungen der Moleküle den Mengen der auf einander wirkenden Magnetismen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernung aber umgekehrt proportional sind.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes durch den Versuch zu bestätigen, dienen folgende Betrachtungen: Es sei *A* (Fig. 253) ein horizontaler, von *O*. nach *W*. gerichteter Magnetstab, *B* eine kleine Magnetnadel, deren Mittelpunkt sich in der Verlängerung der Axe des Magnetstabes *A* befindet, und die sich um diesen Mittelpunkt in horizontaler Ebene frei drehen kann. Der Magnetstab strebt die Nadel so zu drehen, daß die Axen beider in eine gerade Linie fallen, während die richtende Wirkung des Erdmagnetismus dieselbe in ihrer Lage *ns* zu erhalten strebt. Um die Größe des Drehungsmoments (§ 46) zu berechnen, welches bei dieser Lage der Magnetstab auf die Nadel ausübt, denken wir uns der Einfachheit halber den Magnetismus des Stabes *A* sowohl als

Fig. 253.



den der Nadel *B* in je 2 Punkten oder Polen vereinigt. Es seien  $+m$  und  $-m$  die in den Polen des Stabes,  $+m'$  und  $-m'$  die in den Polen der Nadel befindlichen Magnetismen. Es sei ferner  $2l$  die Länge des Stabes *A*,  $2l'$  die Länge der Nadel *B*,  $r$  die Entfernung ihrer Mittelpunkte. Es soll ferner vorausgesetzt werden, daß sowohl  $l$  als  $l'$  sehr klein seien

im Verhältnis zu dieser Entfernung. Anstelle der Entfernungen  $Nn$  und  $Sn$  können dann ohne merklichen Fehler  $NB$  und  $SB$  oder  $r+l$  und  $r-l$  gesetzt werden. Nach dem Coulombschen Gesetz erfährt also der Nordpol der Nadel

von *S* die Anziehung  $\frac{mm'}{(r-l)^2}$ , von *N* dagegen die Abstofsung  $\frac{mm'}{(r+l)^2}$ . Die Gesamtwirkung des Magnets *A* auf den Nordpol *n* ist also eine Anziehung, welche gleich ist der Differenz beider Kräfte:

$$\frac{mm'}{(r-l)^2} - \frac{mm'}{(r+l)^2} = mm' \frac{4rl}{r^4 - 2r^2l^2 + l^4}$$

Da die beiden letzten Glieder des Nenners wegen der Kleinheit von  $l$  gegen das erste verschwinden, so kann dafür ohne merklichen Fehler gesetzt werden:

$$\frac{4mm'l}{r^3}$$

Ebenso groß ist die Abstofsung, welche der Südpol *s* der Nadel durch die vereinigte Wirkung der beiden Pole des Magnetstabes erfährt. Die beiden gleich großen, aber entgegengesetzt parallelen Kräfte, welche auf die Nadel *B* wirken, bilden mithin ein Kräftepaar (§ 50), dessen Hebelarm gleich der Länge der Nadel  $2l'$ , dessen Drehungsmoment also gleich:

$$\frac{8mlm'l}{r^3}$$

ist. Es ergibt sich daraus, daß das Drehungsmoment im umgekehrten Verhältnis der dritten Potenz der Entfernung abnimmt. Das Produkt aus der Länge der Magnetnadel  $2l'$  und der Quantität des in jedem ihrer Pole vereinigten Magnetismus  $m'$  wird ihr magnetisches Moment genannt. Ebenso drückt  $2ml$  das magnetische Moment des Stabes *A* aus. Das von dem Stab *A* auf die Magnetnadel ausgeübte Drehungsmoment ist daher den magnetischen Momenten

beider Magnete direkt, der dritten Potenz ihrer Entfernung aber umgekehrt proportional. Da diese Folgerung aus dem Coulombschen Gesetz abgeleitet worden, so kann ihre Bestätigung durch den Versuch umgekehrt dazu dienen, die Richtigkeit dieses Gesetzes zu beweisen. Man kann zu diesem Zweck entweder die Nadel *B* anstelle des Hebels in der Coulombschen Drehwage (§ 271) aufhängen und bei verschiedenen Entfernungen des Magnetstabes *A* jedesmal die Drehung des Drahtes bestimmen, welche erforderlich ist, um die Nadel in ihre ursprüngliche Ruhelage zurückzuführen, oder man kann den Winkel messen, um welchen die frei schwebende Magnetnadel bei verschiedenen Entfernungen des Stabes aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird. Das durch den Magnetstab *A* erzeugte Kräftepaar strebt die Nadel in die Richtung der Verbindungslinie beider Magnete *AB* zu stellen, die richtende Wirkung des Erdmagnetismus (§ 298) strebt dieselbe nach ihrer Ruhelage *ns* zurückzuführen. Wenn die Nadel unter der gleichzeitigen Einwirkung beider Kräfte in der Lage *n's'* im Gleichgewicht ist, so müssen die von beiden Kräften auf die Nadel im entgegengesetzten Sinne ausgeübten Drehungsmomente einander gleich sein. Wird der Ablenkungswinkel *nBn'* mit  $\alpha$  bezeichnet, so ist leicht ersichtlich, daß in der abgelenkten Lage der Nadel das von dem Magnetstab *A* ausgeübte Drehungsmoment durch:

$$\frac{8mlm'l'}{r^3} \cos \alpha$$

ausgedrückt wird, während das durch die erdmagnetische Kraft *T* hervorgebrachte, entgegengesetzte Drehungsmoment gleich:

$$2m'l' \sin \alpha \cdot T$$

ist. Es muß also:

$$\frac{8mlm'l'}{r^3} \cos \alpha = 2m'l' \sin \alpha \cdot T$$

sein, oder:

$$\tan \alpha = \frac{4ml}{Tr^3}$$

d. h. die Tangente des Ablenkungswinkels ist der dritten Potenz der Entfernung *r* umgekehrt proportional (vergl. § 316).

#### § 297. Magnetische Kurven.

Die Verteilung und Richtung der magnetischen Anziehungs- und Abstofsungskräfte in der Nähe eines beliebig gestalteten Magnets kann auf anschauliche Weise sichtbar gemacht werden, indem man auf ein über den Magnet gelegtes Blatt steifen Papiers Eisenfeilspäne streut. Diese häufen sich am stärksten in der Nähe der Magnetpole an und ordnen sich in deren Umgebung zu regelmäßig gestalteten Kurven, welche beide Pole mit einander verbinden und deren Richtung in jedem Punkt die Richtung der magnetischen Kraft anzeigt. Diese Kurven werden magnetische Kurven genannt. (Faradays Magnetkraftlinien.)

Man bemerkt dabei (Fig. 254a), daß die größte Anhäufung der Feilspäne an den Kanten und Ecken der Polflächen des Magnets stattfindet, daß also dort die magnetische Anziehung am stärksten ist.

§ 298. Erdmagnetismus. Eine um ihren Schwerpunkt frei drehbar aufgehängte Magnetnadel nimmt an jeder Stelle der Erdoberfläche eine

Fig. 254a.



genau bestimmte Richtung an. Diese Erfahrung erklärt sich durch die Annahme, daß der Erdkörper selbst magnetische Eigenschaften zeigt und zwar auf der nördlichen Halbkugel Südmagnetismus, auf der südlichen Halbkugel Nordmagnetismus. Die Erde wirkt auf die Magnetnadel ähnlich wie ein Magnetstab aus großer Entfernung, nämlich so, daß die beiden Pole der Magnetnadel an jeder Stelle der Erdoberfläche stets genau gleich große und entgegengesetzte Einwirkungen erfahren (vergl. § 297). Die Magnetnadel als Ganzes wird daher von der Erde weder angezogen, noch abgestoßen, sondern das aus der entgegengesetzten Wirkung auf beide Pole hervorgehende Kräftepaar übt eine richtende Wirkung auf die Nadel. Eine in ihrem Schwerpunkt unterstützte Nadel ist im Gleichgewicht, sobald die Richtung ihrer magnetischen Axe mit der Richtung der nordmagnetischen Kraft zusammenfällt. Wird sie aus dieser Gleichgewichtslage entfernt, so kehrt sie durch eine Reihe pendelartiger Schwingungen wieder in dieselbe zurück.

Gilbert verfertigte sich (1600) kugelförmige Stahlmagnete (terrellae), an welchen er die magnetischen Eigenschaften der Erde nachwies.

§ 299. Magnetische Deklination; magnetische Meridiane. Die magnetische Axe einer in horizontaler Richtung frei drehbaren Magnetnadel zeigt nicht genau von Süd nach Nord, sondern weicht von der genauen Richtung des astronomischen Meridians nach Osten oder Westen hin um einen gewissen Winkel ab, welcher an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche ungleiche Werte hat und die magnetische Deklination genannt wird. In Berlin betrug dieselbe in Mitte des Jahres 1885 etwa  $11^{\circ}4'$  westlich. (Jährliche Abnahme  $7'$ ). Um die Richtung der Magnetnadel an den verschiedenen Orten der Erdoberfläche anschaulich darzustellen, verzeichnet man auf einer Erdkarte (Fig. 254b, in welcher von einer besonderen Art der Projektion\*) Anwendung gemacht ist) ein System von Kurven, welche sich ergeben, indem man auf der Erdoberfläche von einem beliebigen Punkt aus, immer der Richtung der Magnetnadel folgend, fortschreitet; es wird dann in jedem Punkte durch die Tangente an die zugehörige Kurve die Richtung der Magnetnadel angegeben. Diese Kurven entsprechen also den oben § 297 besprochenen magnetischen Kurven und werden magnetische Meridiankurven genannt. Dieselben zeigen beträchtliche, unregelmäßige Abweichungen von den astronomischen Meridianen und laufen sämtlich in zwei Punkten zusammen, welche in der Nähe des astronomischen Nordpols und Südpols gelegen sind und die magnetischen Pole der Erde genannt werden. An diesen Polen selbst übt der Erdmagnetismus auf eine nur in horizontaler Ebene bewegliche Magnetnadel keine richtende Wirkung mehr aus, sondern dieselbe bleibt in jeder Lage im Gleichgewicht, weil, wie sogleich (§ 300) gezeigt werden wird, die Richtung der erdmagnetischen Kraft in diesen Punkten genau vertikal ist.

Denkt man sich durch die Richtung, welche die Deklinationsnadel an irgend einem Punkt der Erdoberfläche annimmt, eine Vertikalebene gelegt, so heißt diese die Ebene des magnetischen Meridians für diesen Ort.

\*) F. August, Zeitschr. der Gesellsch. für Erdkunde. Bd. IX. Berlin 1874.



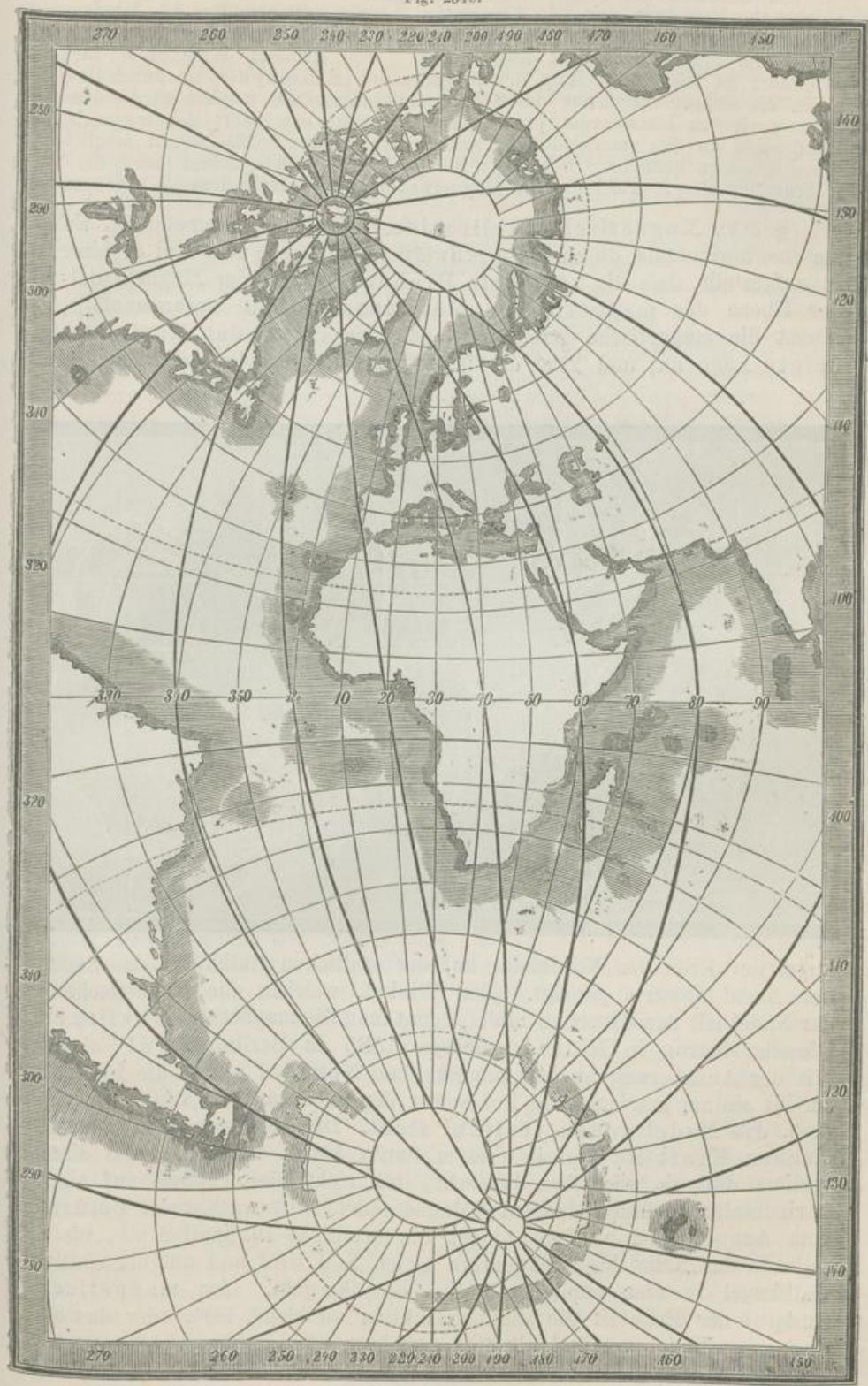
die  
und  
chen  
ähn-  
iden  
reich  
Die  
noch  
eide  
die  
richt,  
ord-  
chts-  
ngen

, an

Die  
mnet-  
ge-  
esten  
der  
tion  
etwa  
mnet-  
arzu-  
von  
stem  
von  
end,  
die  
rven  
und  
be-  
leri-  
der  
die  
elbst  
liche  
leibt  
rden  
enau

ons-  
kal-  
ans

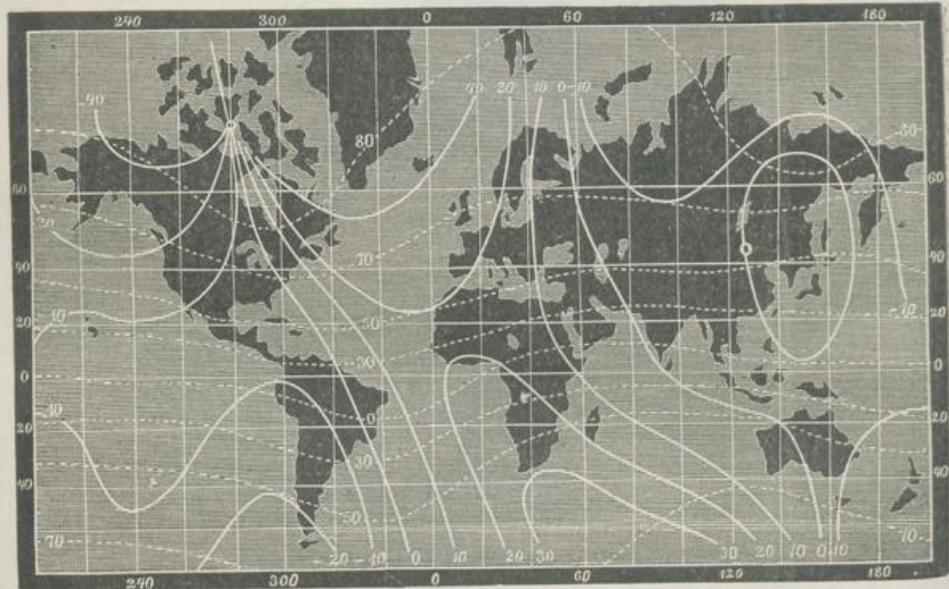
Fig. 254b.



Der Gebrauch der Magnetnadel zur Angabe der Himmelsrichtungen soll eine chinesische Erfindung sein. In Europa ist dieselbe erst seit dem 12. Jahrhundert bekannt. Als Busssole wird die Magnetnadel zu Winkelmessungen, in der Feldmeß- und Markscheidkunst angewendet. Von größter Wichtigkeit für die Schifffahrt ist die Anwendung der Magnetnadel im Kompaß, da durch dieselbe allein die sichere Steuerung des Schiffes auf offener See möglich wird. Deshalb ist es auch von besonderem praktischen Interesse, den Wert der magnetischen Deklination an den verschiedenen Punkten der Meeresoberfläche mit möglicher Genauigkeit zu kennen. Christoph Kolumbus bemerkte zuerst (1492) die Verschiedenheit der Abweichung der Magnetnadel unter verschiedenen Längengraden.

§ 300. Magnetische Inklination. Wird eine Magnetnadel, welche um eine horizontale, durch ihren Schwerpunkt gehende Axe frei drehbar ist, so aufgestellt, daß die vertikale Drehungsebene der Magnetnadel mit der Ebene des magnetischen Meridians (§ 299) zusammenfällt, so nimmt die magnetische Axe der Nadel eine gegen den Horizont geneigte Lage an, und zwar ist im allgemeinen auf der nördlichen Halb-

Fig. 254c.



kugel der Erde das Nordende, auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel abwärts geneigt. Den Winkel, welchen die magnetische Axe der Nadel mit dem Horizont bildet, nennt man die magnetische Inklination. Dieselbe betrug in Mitte des Jahres 1885 in Berlin  $66^{\circ} 51'$  nördlich. Mit der Annäherung an den magnetischen Nordpol nimmt die Inklination zu, bis sie am magnetischen Pol selbst den größten Wert von  $90^{\circ}$  erreicht, d. h. die Nadel genau vertikal steht. Die Richtung der erdmagnetischen Kraft ist also in diesem Punkt genau vertikal, und dieselbe verliert deshalb, wie oben bemerkt, den richtenden Einfluß auf eine in horizontaler Richtung drehbare Magnetnadel. Mit wachsender Entfernung vom magnetischen Nordpol nimmt die nördliche Inklination ab, bis dieselbe in der Nähe des Erdäquators gleich Null wird und auf der südlichen Halbkugel in eine südliche Inklination übergeht. Am magnetischen Südpol der Erde ist die südliche Inklination gleich  $90^{\circ}$ , oder das Südende der Nadel vertikal abwärts gerichtet. Die Linie, welche sämtliche

Punk  
rizont  
Äqua  
zusa  
Punk  
kugel

M  
die be  
als in  
nadel  
schnitt  
Tange  
V  
gleich  
erhält  
goner  
die n  
von K  
Diesel  
sind i  
Nordp  
Green  
noch

der m  
eine  
würde  
der  
dieser  
fordern  
diesel  
selber  
mit g  
dauer  
magn  
gung  
nämli  
unter  
Umst  
wurde  
prop  
zwei  
Schw  
gleich  
der e  
schen  
Ihre  
gleich

G  
mit p  
tische  
mäsig  
Kubik

Punkte der Erdoberfläche verbindet, an welchen die Inklinationsnadel horizontal steht oder die Inklination gleich Null ist, heißt der magnetische Äquator der Erde. Derselbe fällt nicht mit dem astronomischen Äquator zusammen (siehe Fig. 254c), sondern durchschneidet denselben an zwei Punkten, so daß er teils auf der nördlichen, teils auf der südlichen Halbkugel der Erde liegt.

Man kann sich vorstellen, daß in einem Längendurchschnitt der Erde durch die beiden magnetischen Pole der Erdmagnetismus eine ähnliche Wirkung ausübt, als in Fig. 254a durch die magnetischen Kurven dargestellt ist: die Inklinationsnadel giebt an jedem Punkt der Erdoberfläche, von welcher man sich einen Axenschnitt in jener Figur durch den punktierten Kreis angedeutet denken mag, die Tangentenrichtung der zugehörigen magnetischen Kurve an.

Verbindet man alle Punkte der Erdoberfläche, in denen die Magnetnadel gleiche Abweichungen vom astronomischen Meridian zeigt, durch eine Linie, so erhält man ein System von Kurven, welche Linien gleicher Deklination oder Isogonen heißen. Ebenso ergeben sämtliche Punkte der Erdoberfläche, in welchen die nördliche oder südliche Inklination denselben Wert hat, verbunden ein System von Kurven, welche Linien gleicher Inklination oder Isoklinen genannt werden. Dieselben weichen in ihrem Verlauf beträchtlich von den Parallelkreisen ab und sind in Fig. 254c gleichzeitig mit den Isogonen dargestellt. — Der magnetische Nordpol, welcher im nördlichen Amerika unter  $70^{\circ} 5' N. Br.$  und  $96^{\circ} 46' W. L.$  von Greenwich liegt, ist von Kapitän Ross wirklich erreicht worden; dagegen ist es noch nicht gelungen, bis zum magnetischen Südpol vorzudringen.

§ 301. Intensität des Erdmagnetismus. Durch die Angabe der magnetischen Deklination und Inklination ist die Richtung, welche eine um ihren Schwerpunkt völlig frei drehbare Magnetnadel annehmen würde, oder die Richtung der erdmagnetischen Kraft an jeder Stelle der Erdoberfläche vollkommen genau bestimmt. Zur völligen Kenntnis dieser Kraft ist aber noch die Angabe ihrer Stärke oder Intensität erforderlich. Daß diese Intensität nicht an allen Punkten der Erdoberfläche dieselbe ist, ergibt sich daraus, daß die Schwingungen einer und derselben Nadel um ihre Gleichgewichtslage an verschiedenen Orten nicht mit gleicher Geschwindigkeit erfolgen. Die Vergleichung der Schwingungsdauer giebt aber ein leichtes Mittel an die Hand, die Intensität der erdmagnetischen Kraft an verschiedenen Orten zu vergleichen. — Die Schwingungen der Magnetnadel unter dem Einfluß des Erdmagnetismus befolgen nämlich dieselben Gesetze, wie die Schwingungen des Pendels (§§ 61—63) unter dem Einfluß der Schwerkraft, und es ist, unter übrigens gleichen Umständen, die Schwingungsdauer einer Magnetnadel der Quadratwurzel aus der Intensität der magnetischen Kraft umgekehrt proportional. Sind also  $i_1$  und  $i_2$  die magnetischen Intensitäten an zwei verschiedenen Orten und bezeichnen  $n_1$  und  $n_2$  die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel an einem und dem anderen Orte in gleichen Zeitabschnitten vollendet, so ist  $i_1 : i_2 = n_1^2 : n_2^2$ . Die Intensität der erdmagnetischen Kraft wächst mit der Annäherung an die magnetischen Pole und ist am geringsten in der Nähe des magnetischen Äquators. Ihre Verteilung auf der Erdoberfläche kann durch ein System von Linien gleicher Intensität oder Isodynamen dargestellt werden.

Gauß hat berechnet, daß 8464 Trillionen je ein Pfund schwerer Magnetstäbe mit parallel gerichteten, magnetischen Axen erforderlich wären, um die magnetische Wirkung der Erde im äußeren Raum zu ersetzen, oder daß bei gleichmäßiger Verteilung derselben im ganzen Rauminhalt der Erde etwa auf je ein Kubikmeter acht solcher Stäbe kommen würden.

§ 302. Variationen der magnetischen Elemente. Die Richtung und Stärke der erdmagnetischen Kraft ist nicht nur an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ungleich, sondern sie ist auch an demselben Orte langsamen Änderungen oder Variationen unterworfen. Diese Änderungen sind teils periodische, kleine Schwankungen in der Richtung der Magnetnadel, welche nur wenige Bogenminuten betragen und sich in regelmäÙig wiederkehrenden Perioden, namentlich während einer täglichen, von Graham (1722) entdeckten, Periode, in gleicher Weise wiederholen; teils sind es säkulare Änderungen, welche sehr langsam erfolgen, aber, eine lange Reihe von Jahren hindurch in gleichem Sinne fortschreitend, allmählich zu beträchtlicher GröÙe anwachsen; teils endlich sind es unregelmäÙige Störungen des magnetischen Gleichgewichts der Erde, welche schnell vorübergehen und mit elektrischen Strömungen im Innern des Erdkörpers in Zusammenhang stehen. Dieselben treten häufig gleichzeitig mit Nordlichterscheinungen auf — magnetisches Gewitter (§ 303).

Im Laufe des vorigen Jahrhunderts war die magnetische Deklination (vergl. § 299) in Deutschland im Zunehmen begriffen und erreichte i. J. 1805 ihren größten Wert von  $18^\circ$ . Seitdem nimmt dieselbe langsam ab, so daß sie möglicherweise einmal gleich Null werden und in eine östliche Abweichung übergehen wird. — Ähnlichen Änderungen sind die magnetische Inklination und Intensität unterworfen.

Aus Beobachtungen, welche während der Jahre 1844—1886 zu Clausthal angestellt worden sind, hat sich für die Differenz der beiden um  $8^h$  morgens und  $1^h$  mittags stattfindenden Deklinationenwerte eine Periode von 11,34 Jahren ergeben, also fast dieselbe wie die von Spörer für die Periode in der Häufigkeit der Sonnenflecke gefundene (§ 372).

Zur Beobachtung kleiner Änderungen im Stande der Magnetnadel dient am besten die von Poggendorff (1823) angegebene, höchst empfindliche Methode der Spiegelablesung. An dem Magnetstab  $AB$  (Fig. 255) ist bei  $S$  ein Spiegel angebracht, auf welchen das Fernrohr  $C$  gerichtet ist. Der Beobachter erblickt in demselben das Spiegelbild einer horizontalen, in Millimeter geteilten Skala  $DE$ .

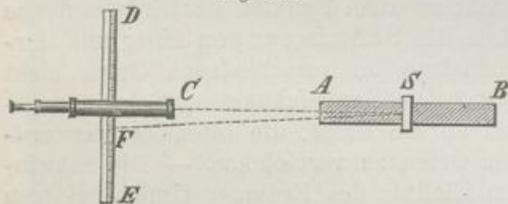


Fig. 255.

Bei der normalen Lage des Magnetstabes fällt der Nullpunkt der Skala genau mit einem im Okular des Fernrohrs angebrachten Vertikalfaden (§ 172) zusammen. Wird jetzt der Magnetstab und dadurch der Spiegel  $S$  um einen

kleinen Winkel  $\alpha$  gedreht, so ändert sich die Lage des Spiegelbildes im Fernrohr, und der Vertikalfaden zeigt jetzt einen anderen Skalenstrich  $F'$  an. Nach optischen Gesetzen (§ 353) ist der Winkel  $CSF'$  gleich dem doppelten Drehungswinkel des Spiegels,  $2\alpha$ . Aus der GröÙe der Verschiebung  $CF'$  und der bekannten Entfernung  $SC$  kann aber die GröÙe dieses Winkels leicht berechnet werden, und es läÙt sich leicht ein für allemal bestimmen, welchem Drehungswinkel des Spiegels jeder Skalenteil entspricht. Beträgt nämlich die Entfernung des Spiegels von der

Mitte der Skala  $m$  Skalenteile, so ist  $\tan 2\alpha = \frac{1}{m}$ .

Auf die Methoden zur Bestimmung der Variationen der magnetischen Inklination und Intensität kann aus Mangel an Raum nicht eingegangen werden.

§ 303. Polarlicht. Eine noch nicht hinreichend aufgeklärte Erscheinung, welche aber jedenfalls in nahem Zusammenhang mit den magnetischen Eigenschaften des Erdkörpers steht, bietet das Polarlicht dar, welches, namentlich unter den höheren Graden nördlicher und südlicher geographischer Breite, als Nordlicht und Südlicht beobachtet wird. Dasselbe beginnt in der Regel kurz nach dem Ende der Abenddämmerung

damit,  
einem  
Lichtsa  
von de  
und A  
weit er  
höchste  
so schi  
obachte  
gegenge  
Mittelp  
magnet  
schon  
bogens  
der Ric  
Strahler  
Perspe  
mit der  
Kraft p  
entspre  
welchen  
weis für  
ausgeze  
Störung  
begleite  
Innern  
Telegra

Die  
stattfin  
aus Hels  
Polarlich  
bilden. I  
zwei Ber  
einem N  
bis zu e  
Höhe de  
Nordlich  
eine der  
ist aber  
ordentlic  
Luftschic  
flektier  
elektrisi  
magnetis  
des merk  
auf einer  
treten de  
Polarlich  
maximum  
Am  
mittleren  
hellen, v  
meinen e  
Die Beob  
licher Ze  
und gesta

damit, daß sich am nördlichen (oder südlichen) Horizont ein dunkles, von einem hellen Saum eingefasstes Kreissegment abgrenzt; bald wird der Lichtsaum breiter und glänzender, es beginnen Strahlen in radialer Richtung von demselben auszugehen, welche ihren Ort beibehalten, aber in Glanz und Ausdehnung einen fortwährenden Wechsel zeigen, so daß sie bald weit emporschießen, bald fast verschwinden. Wenn die Erscheinung ihren höchsten Glanz erreicht, was nur unter hohen Breitengraden stattfindet, so schießen die Strahlen von allen Seiten bis über den Scheitel des Beobachters empor und vereinigen sich, nach der ihrem Ausgangspunkt entgegengesetzten Seite der Himmelskugel hin, zu einer Krone, deren Mittelpunkt südlich vom Zenith gelegen ist. Daß das Nordlicht mit den magnetischen Erscheinungen des Erdkörpers im Zusammenhang steht, geht schon aus dem Umstand hervor, daß der Mittelpunkt des Nordlichtbogens seiner Lage nach nicht dem astronomischen Norden, sondern der Richtung der Magnetnadel entspricht. Die radiale Ausströmung der Strahlen und die Konvergenz zur Nordlichtkrone ist eine Wirkung der Perspektive, indem in Wirklichkeit die Strahlen unter einander und mit der Richtung der Inklinationsnadel oder der erdmagnetischen Kraft parallel sind. Der Mittelpunkt des Lichtbogens und der der Krone entsprechen den gegenüberliegenden Punkten der Himmelskugel, nach welchen die Pole der Inklinationsnadel gerichtet sind. Einen ferneren Beweis für die magnetische Natur des Nordlichts liefert der Umstand, daß ausgezeichnete Nordlichterscheinungen stets von starken, unregelmäßigen Störungen in der Richtung und Intensität der erdmagnetischen Kraft (§ 302) begleitet sind, sowie von Störungen des elektrischen Gleichgewichts im Innern des Erdkörpers, welche sich durch elektrische Strömungen in den Telegraphenleitungen kundgeben.

Die Versuche, die Höhe zu bestimmen, in welchen die Nordlichterscheinungen stattfinden, haben bisher meist nur unsichere Resultate ergeben. Prof. Lemström aus Helsingfors, Leiter der finnländischen Polarstation, hat beobachtet, daß sich Polarlichtstrahlungen auch unterhalb der Wolken, über Bergspitzen und dergl. bilden. Es ist ihm im Winter 1882 zu 1883 gelungen, im nördlichen Finnland auf zwei Bergen von 800 und 1100 m Höhe Lichtausstrahlungen, ähnlich denen bei einem Nordlicht, hervorzurufen. Andererseits hat man Nordlichterscheinungen bis zu einer Höhe von 130–150 km beobachtet. Als wahrscheinlichste mittlere Höhe des Polarlichtes in Spitzbergen wurde (1883) etwa 60 km gefunden. Da das Nordlicht an der Umdrehungsbewegung unserer Erde teilnimmt, so muß es als eine der Erdatmosphäre angehörige Erscheinung betrachtet werden. Jedenfalls ist aber die Dichtigkeit der Atmosphäre in jenen hohen Schichten eine außerordentlich geringe. (Aus der Dauer der Dämmerung wird die Höhe der äußersten Luftschichten, welche noch merkliche Mengen von Sonnenlicht zu reflektieren vermögen, auf etwa 75 km geschätzt.) Die Erscheinungen, welche elektrische Entladungen in sehr verdünnten Gasen (vergl. § 334), unter Einwirkung magnetischer Kräfte, darbieten, werden vielleicht einst eine vollständige Aufklärung des merkwürdigen Phänomens zu geben vermögen. Andere Untersuchungen haben auf einen Zusammenhang zwischen dem Erscheinen der Polarlichter und dem Auftreten der Sonnenflecke geführt, und zwar daß die periodische Wiederkehr der Polarlichter und der magnetischen Störungen zusammenfällt mit der des Fleckenmaximums auf der Sonnensoberfläche (§ 372).

Am 2. Oktober 1882 abends, zwischen 7 $\frac{1}{2}$  und 8 $\frac{1}{2}$  Uhr Berliner Zeit, war im mittleren westlichen Europa ein Nordlicht sichtbar, welches sich durch einen aus hellen, wolkenartigen Gebilden bestehenden Bogen auszeichnete, der im allgemeinen einer Richtung senkrecht zu den magnetischen Meridianen zu folgen schien. Die Beobachtungen desselben erstreckten sich bis auf einen Bogen von 76° südlicher Zenithdistanz bis 80° nördlicher Zenithdistanz, also von 156° Ausdehnung, und gestatteten eine Berechnung der Höhe des Nordlichtbogens. Herr O. Jesse

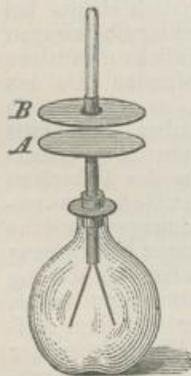
in Steglitz hat diese Höhe auf 122,2 km, mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur 4,5 km, bestimmt.

### 3. Berührungselektricität oder Galvanismus.

§ 304. Entwicklung von Elektricität durch Berührung. Galvanis Entdeckung. Luigi Galvani (1737—1798), Arzt in Bologna, wurde im Jahre 1789 durch Zufall auf die Entdeckung einer neuen Art von Elektricitäts-erregung geführt. Er hatte nämlich enthäutete Froschschenkel mittelst aus Kupferdraht gebildeter Haken an einem eisernen Gitter aufgehängt und beobachtete, daß die Muskeln der Froschschenkel zuckten, so oft sie mit den Eisenstäben des Gitters in Berührung kamen. Da Galvani vorher ähnliche Zuckungen unter Einfluß von Reibungselektricität beobachtet hatte, so erkannte er diese Erscheinung als eine elektrische, täuschte sich jedoch hinsichtlich der Quelle der Elektricitäts-entwicklung, indem er dieselbe in einer Wechselwirkung der Muskeln und Nerven des Froschschenkels zu erkennen glaubte. Alessandro Volta (1745—1827) zeigte, daß die Berührung zweier verschiedenen Metalle eine wesentliche Bedingung zum Gelingen des Versuches sei, und daß der Froschschenkel bei Galvanis Versuch nur das Mittel zum Nachweis der Elektricitäts-entwicklung bilde, deren Ursache in der Berührung des Kupfers und Eisens zu suchen sei. Volta wies ferner (1794) nach, daß bei jeder Berührung zweier Metalle, oder überhaupt zweier verschiedenen Leiter der Elektricität, eine Elektricitäts-erregung stattfindet, indem der eine Körper positive, der andere negative Elektricität erhält. Die Spannung der erregten Elektricität war jedoch eine so geringe, daß sich Volta zur Verstärkung derselben des von ihm erfundenen Kondensators bedienen mußte.

§ 305. Kondensator, Voltas Fundamentalversuch. Die Einrichtung des Kondensators beruht auf demselben Grundprinzip, wie die der Leydener Flasche (§ 277). Derselbe besteht aus zwei eben geschliffenen, in der Regel kreisrunden Metallplatten, welche durch eine möglichst dünne Schicht einer nichtleitenden Substanz von einander getrennt sind. In der Regel

Fig. 256.



ist die untere Platte *A* (Fig. 256), welche die Kollektorplatte genannt wird, auf einem empfindlichen Elektroskop (§ 266) befestigt. Die obere oder Kondensatorplatte *B* kann mittelst eines isolierenden Handgriffes auf dieselbe aufgesetzt, oder von ihr abgehoben werden. Beide Metallplatten sind auf den ebenen, einander zugewendeten Flächen mit einem dünnen, isolierenden Überzug von Schellackfirnis versehen, welcher ihre leitende Berührung hindert. Der Kondensator dient zur Ansammlung schwacher Elektricitätsmengen, indem man bei seiner Ladung ähnlich verfährt, wie bei der Leydener Flasche. Bringt man einen sehr schwach elektrisierten Körper mit der Kollektorplatte *A* in Berührung, während gleichzeitig *B* mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird, so wird *A* mit der zu prüfenden Elektricität geladen, während gleichzeitig auf *B* durch Influenz eine annähernd gleiche Menge der entgegengesetzten Elektricität angesammelt wird. Durch Wiederholung dieses Vorganges kann man nach und nach auf den Platten des Kondensators eine größere Elektricitätsmenge ansammeln. Solange beide Platten vereinigt bleiben, halten sich die auf beiden angesammelten, entgegengesetzten Elektricitätsmengen, wie bei der Leydener

Flasche, auf beiden Seiten der isolierenden Firnissschicht gegenseitig gebunden. Wird aber die Kondensatorplatte *B* mittelst ihres isolierenden Handgriffes abgehoben, so wird die auf *A* angesammelte Elektrizität frei, verbreitet sich über die Goldblättchen und bringt diese zur Divergenz. Das Vorzeichen der angesammelten Elektrizität kann leicht mittelst einer angenäherten, geriebenen Glas- oder Harzstange geprüft werden.

Volta verschaffte sich nun ebene, kreisrunde Platten aus verschiedenen Metallen, welche sämtlich mit isolierenden Handgriffen versehen waren. Wurden zwei solche Platten aus verschiedenen Metallen in Berührung gebracht, so zeigten sie sich nach der Trennung entgegengesetzt elektrisch. Da die durch einmalige Berührung beider Platten erzeugte Elektrizitätsmenge zu gering war, um die Strohhalme oder Goldblättchen des Elektroskops zur Divergenz zu bringen, so wurden die durch nochmalige Berührung erzeugten Elektrizitätsmengen mittelst des Kondensators angesammelt und dann durch Abheben der Kondensatorplatte geprüft.

Eine andere Methode, den Versuch anzustellen, besteht darin, daß man die Platten *A* und *B* des Kondensators selbst aus verschiedenen Metallen, z. B. *A* aus Kupfer, *B* aus Zink, anfertigt. Bringt man dann *A* und *B* durch einen Kupferdraht in leitende Verbindung und hebt nach Entfernung des Kupferdrahtes die Platte *B* ab, so zeigt sich der Kondensator geladen und zwar die Kupferplatte mit negativer, die Zinkplatte mit positiver Elektrizität. Diese Versuchsmethode ist der obigen vorzuziehen, weil bei letzterer die Berührung der verschiedenartigen Metalle mit den in der Regel aus Messing gebildeten Kondensatorplatten selbst wieder zu Elektrizitätsentwicklung Anlaß giebt.

§ 306. Gesetze der Voltaschen Spannungsreihe für Berührungselektrizität. Indem Volta die Elektrizitätsentwicklung bei Berührung verschiedener Metalle einer genauen Untersuchung unterwarf, wurde er zu folgenden wichtigen Gesetzen geführt:

1. Die Metalle lassen sich in eine Reihe — die Voltasche Spannungsreihe — anordnen, welche die Eigenschaft hat, daß jedes vorhergehende Metall, mit einem folgenden berührt, positive, jedes folgende durch Berührung mit einem in der Reihe vorhergehenden negative Elektrizität annimmt (vergl. § 265). Die Reihenfolge der wichtigsten Metalle ist folgende:

+ Zink, Blei, Zinn, Wismut, Antimon, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin —.

Es fällt in dieser Reihe zunächst in die Augen, daß zwischen dem elektrischen Verhalten der Metalle und ihren chemischen Eigenschaften ein eigentümlicher Zusammenhang besteht, indem die Metalle, welche die größte Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, oder am leichtesten oxydierbar sind, dem positiven Ende der Reihe zunächst stehen, die schwer oxydierbaren, edlen Metalle dagegen das negative Ende bilden. In der That haben spätere Untersuchungen ergeben, daß sich die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden (§ 20) sämtlich noch positiver als das Zink verhalten, so daß das Kalium das äußerste positive Ende der Spannungsreihe bildet. Andererseits können auch gewisse leitende Metalloxyde, wie Braunstein (Mangansuperoxyd), welche keiner weiteren Oxydation fähig sind, in die Spannungsreihe eingeordnet werden, und zwar zeigen sie ein stark negatives Verhalten. Dasselbe gilt von Kohle und Graphit, welche zwar bei hoher Temperatur brennbar sind, bei gewöhnlicher Temperatur aber gar keine Verwandtschaft zum Sauerstoff zeigen.

2. Zwischen je zwei in der Reihe enthaltenen Substanzen wird durch die Berührung eine bestimmte, elektrische Spannungsdifferenz erzeugt, welche lediglich von ihrer Substanz abhängt,

von der Form und Gröfse der Berührungsfläche aber unabhängig ist. Diese Spannungsdifferenz ist um so gröfser, je weiter die Substanzen in der Reihe von einander entfernt stehen.

Am gröfsten ist daher unter den Schwermetallen die Spannungsdifferenz zwischen Zink und Platin. Nimmt man die elektrische Spannungsdifferenz zwischen Zink und Kupfer gleich 100 an, so ist für häufiger zur Anwendung kommende Glieder der Spannungsreihe, nach Hankel, die Differenz zwischen den auf einander folgenden Metallen:

<i>a</i>	<i>c</i>	Zn	Pb	Sn	Fe	Cu	Au	Ag	C	Pt.
		44	7	33	16	10	8	4	1	

Als Kohle war eine Platte von Gaskohle benutzt: die Spannungsdifferenzen zeigten sich abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche der Metalle, erhielten also andere Werte, wenn die Metalle eine Zeit lang an der Luft gelegen hatten.

3. Sind *a*, *b*, *c* drei beliebig gewählte Glieder der Spannungsreihe, so ist die Spannungsdifferenz zwischen *a* und *c* gleich der Summe der Differenzen zwischen *a* und *b* und zwischen *b* und *c*, oder wenn *a|b* die Gröfse der Spannungsdifferenz der Substanz *a* und *b* bezeichnet, so ist:

$$a|c = a|b + b|c.$$

Es sind also, der Hankelschen Tabelle entsprechend, die Spannungsdifferenzen des Zinks mit den übrigen Gliedern der Spannungsreihe:

$$\begin{aligned} \text{Zn|Pb} &= 44, & \text{Zn|Sn} &= 51, & \text{Zn|Fe} &= 84, & \text{Zn|Cu} &= 100, \\ \text{Zn|Au} &= 110, & \text{Zn|Ag} &= 118, & \text{Zn|C} &= 122, & \text{Zn|Pt} &= 123; \end{aligned}$$

und hieraus die der übrigen Metalle durch Subtraktion herzuleiten:

$$\text{Fe|Au} = 26, \quad \text{Cu|Ag} = 18, \quad \text{Cu|Pt} = 23 \text{ u. s. w.}$$

Aus diesem Satz folgt ferner, dafs wenn zwei Metalle *a* und *c* durch ein Zwischenglied *b* in leitende Verbindung gesetzt werden, die Spannungsdifferenz der Endglieder dieselbe ist, als ob sie einander unmittelbar berührten. Dieser wichtige Satz bleibt für eine aus beliebig vielen Gliedern der Spannungsreihe gebildete Reihenfolge gültig.

§ 307. Elektromotorische Kraft. Die Ursache, welche die Elektrizitätsentwicklung bei Berührung zweier verschiedenen, leitenden Substanzen hervorruft und andererseits die sofortige Wiedervereinigung der getrennten Elektrizitäten hindert, muß in einer besonderen Kraft gesucht werden, welche an der Berührungsstelle beider Substanzen in Wirkung tritt und elektromotorische Kraft genannt wird. Die Wirkung dieser Kraft besteht darin, zwischen beiden Substanzen eine bestimmte, elektrische Spannungsdifferenz zu erzeugen, und wenn diese auf irgend eine Weise aufgehoben wird, sie sofort wiederherzustellen.

Es werde die elektrische Differenz zweier Metalle, z. B. des Kupfers und Zinks, mit *2e* bezeichnet. Bringt man zwei unelektrische und isolierte Platten aus beiden Metallen in Berührung, so erhält das Kupfer negative Elektrizität von der Spannung  $-e$ , das Zink positive Elektrizität von der Spannung  $+e$ , so dafs die algebraische Differenz beider *2e* beträgt. Würde jetzt die Kupferplatte durch Ableitung zum Erdboden unelektrisch gemacht, so dafs ihre Spannung  $= 0$  wäre (vergl. § 279), so würde die Zinkplatte die Elektrizität  $+ 2e$  erhalten; würde hingegen die Zinkplatte zum Boden abgeleitet, so erhielte die mit ihr in Berührung stehende Kupferplatte durch die zwischen beiden thätige, elektromotorische Kraft die Elektrizität  $- 2e$ , so dafs in jedem Fall der Wert der algebraischen Spannungsdifferenz *2e* beträgt. Wird der Kupferplatte durch irgend eine äufsere Elektrizitätsquelle die elektrische Spannung  $+ 5e$  erteilt, so müfste die Zinkplatte  $+ 7e$  erhalten, und wenn umgekehrt der Zinkplatte die Spannung  $- 3e$

mitget  
die Sp

und  
welch  
so we  
wirke  
talle

Es mö  
einen  
verbun  
halber

rührun  
motori  
werden  
den L

$+ E$   
gegeng  
die el

die el  
und st  
Es fin  
innerh

beiden  
Kreise  
Pfeile  
tung

Kette  
bald e  
B und

D  
weise,  
lichen  
lichen

Enden  
geboge  
das m

zweckn  
Schwefe  
Durch  
galvan

Wu  
dritten,  
nungsre  
bildeten  
Kraft b  
falls ele  
den Kre  
durch d  
differenz  
 $= a|c$   
wirksam  
Spannun

mitgeteilt wird, so wird durch die elektromotorische Kraft auf der Kupferplatte die Spannung  $-5e$  erzeugt.

§ 308. Elektrischer Strom, galvanische Kette. Es seien  $AB$  und  $AC$  (Fig. 257) zwei Streifen aus verschiedenen Metallen  $a$  und  $b$ , welche bei  $A$  in leitender Verbindung stehen, so werden infolge der an der Berührungsstelle wirkenden, elektromotorischen Kraft beide Metalle entgegengesetzte Elektricitäten erhalten. Es mögen nun die beiden Enden  $B$  und  $C$  durch einen dritten, nicht metallischen Leiter  $c$  verbunden sein, und es soll der Einfachheit halber angenommen werden, daß durch die Berührung von  $c$  mit  $a$  und  $b$  keine neuen elektromotorischen Kräfte hervorgerufen werden. Es werden sich dann die entgegengesetzten Elektricitäten beider Metalle durch den Leiter  $c$  hindurch zu neutraler Elektricität vereinigen, indem die  $+E$  in der Richtung des Pfeiles von  $B$  nach  $C$ , die  $-E$  aber in entgegengesetzter Richtung strömt. Sobald aber durch diese Vereinigung die elektrische Spannungsdifferenz beider Metalle verringert wird, tritt die elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle  $A$  in Wirksamkeit und strebt die ursprüngliche Spannungsdifferenz wiederherzustellen (§ 307). Es findet infolgedessen bei  $A$  eine fortdauernde Scheidung und innerhalb des Leiters  $c$  eine fortwährende Wiedervereinigung der beiden Elektricitäten statt, oder in dem aus den Leitern  $a, b, c$  gebildeten Kreise strömt die positive Elektricität fortdauernd in der Richtung der Pfeile  $ABC$ , die negative Elektricität aber in der entgegengesetzten Richtung  $ACB$ , solange die aus den drei Leitern gebildete, galvanische Kette geschlossen bleibt. Dieser elektrische Doppelstrom hört auf, sobald entweder die Berührung bei  $A$  aufgehoben oder die Leitung zwischen  $B$  und  $C$  unterbrochen wird.

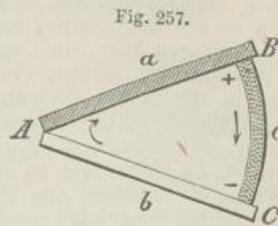
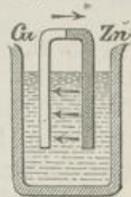


Fig. 257.

Derartige elektrische Ströme entstehen beispielsweise, so oft die Enden zweier in Berührung befindlichen Metallstreifen durch einen flüssigen, nicht metallischen Leiter verbunden werden, indem man z. B. die Enden eines aus Kupfer und Zink zusammengelöteten, gebogenen Metallstreifens (Fig. 258) in ein Gefäß taucht, das mit Wasser gefüllt ist, dessen Leitungsvermögen zweckmäßig durch einen Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure oder Auflösung von Kochsalz erhöht wird. Durch zwei verschiedene Metalle und eine leitende Flüssigkeit wird ein galvanisches Element gebildet.

Fig. 258.



Würde man die Enden der Metallstreifen  $AB$  und  $AC$  (Fig. 257) durch einen dritten, ebenfalls metallischen Leiter  $c$  verbinden, welcher in die elektrische Spannungsreihe (§ 306, 1) gehört, so könnte in dem aus den drei Metallen  $a, b, c$  gebildeten Kreise kein elektrischer Strom entstehen. Außer der elektromotorischen Kraft bei  $A$  würden nämlich durch die Berührung der Metalle bei  $B$  und  $C$  ebenfalls elektromotorische Kräfte in Wirksamkeit treten. Denkt man sich anfänglich den Kreis, etwa bei  $B$ , unterbrochen, so würden die Metalle  $a$  und  $c$  nach § 306, 3 durch die bei  $A$  und  $C$  wirkenden, elektromotorischen Kräfte dieselbe Spannungsdifferenz erhalten, als ob sie einander unmittelbar berührten; es wäre  $ab + bc = ac$ . Wird daher bei  $B$  die Kette geschlossen, so ist die zwischen  $a$  und  $c$  wirksame, elektromotorische Kraft gerade hinreichend, um die Ausgleichung der Spannungsdifferenz zu verhindern. Die Elektricität ist also auf einem aus

drei metallischen Leitern gebildeten Kreise im Gleichgewicht, und dasselbe gilt, wie leicht ersichtlich, von jeder aus beliebig vielen metallischen Leitern gebildeten Kette. (Inwiefern dieser Satz eine Beschränkung erfährt, s. unten § 337).

Es ist vorhin der Einfachheit wegen angenommen worden, daß durch Berührung des nichtmetallischen Leiters *c* mit *a* und *b* keine neuen elektromotorischen Kräfte erzeugt werden, sondern daß der Leiter *c* lediglich zur Ausgleichung der auf *a* und *b* angesammelten Elektricitäten dient. Es ist jedoch nach den obigen Betrachtungen klar, daß auch, wenn bei *B* und *C* neue elektromotorische Kräfte in Wirksamkeit treten, ein Strom jedesmal eintreten muß, so oft der Leiter *c* nicht in die Reihe derjenigen gehört, welche dem Gesetz der elektrischen Spannungsreihe (§ 306, 3) unterworfen sind. Dies ist aber bei allen nichtmetallischen, flüssigen Leitern der Fall. Volta nannte diese Leiter zweiter Klasse, im Gegensatz zu den in der Spannungsreihe enthaltenen Leitern erster Klasse, zu welchen alle Metalle, auch das flüssige Quecksilber, gehören. Es wird unten (§ 339 ff.) gezeigt werden, daß die Leiter zweiter Klasse die Eigentümlichkeit besitzen, den elektrischen Strom nicht zu leiten, ohne durch denselben eine chemische Zersetzung zu erfahren.

In Wirklichkeit werden nicht nur durch die Berührung der Metalle unter einander, sondern auch durch ihre Berührung mit Flüssigkeiten, elektromotorische Kräfte erzeugt, und zwar sind die letzteren zum Teil viel beträchtlicher als die ersteren. Im allgemeinen verhalten sich die Metalle, den Flüssigkeiten gegenüber, elektronegativ und zwar um so stärker, je leichter sie oxydierbar sind. Auch hier sind die Metalle wegen ihres elektromotorischen Verhaltens gegen Flüssigkeiten in eine Reihe geordnet worden, welche im besonderen für verdünnte Schwefelsäure nach Poggendorff die folgende ist: Zink, Cadmium, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Antimon, Wismut, Kupfer, Silber, Platin.

Die elektromotorische Kraft einer aus drei Leitern gebildeten Kette findet man, indem man die an den drei Berührungsstellen wirksamen, elektromotorischen Kräfte, in einer bestimmten Richtung fortschreitend summiert. So ist z. B. in einem aus *Zn*, *Cu* und *Ag* gebildeten Kreise  $Zn|Cu=100$ ,  $Cu|Ag=18$ , woraus nach dem Spannungsgesetz  $Zn|Ag=118$ , mithin  $Ag|Zn=-118$  folgt. Die gesamte elektromotorische Kraft ist also:

$$Zn|Cu + Cu|Ag + Ag|Zn = 100 + 18 - 118 = 0.$$

Dagegen hat man in einer Kette aus *Zn*, *C* und verdünnter Schwefelsäure etwa:  $Zn|C=122$ ,  $C|Schw=-4,7$ ,  $Schw|Zn=47,7$ , woraus sich die Summe der elektromotorischen Kräfte in diesem Kreise  $=+165$  ergeben würde. Es würde also in einer solchen Kette ein Strom positiver Elektricität in der Richtung *Zn*, *Schw*, *C* und ein Strom negativer Elektricität in der entgegengesetzten Richtung circulieren.

§ 309. Voltasche Säule (1800); offene und geschlossene Säule. Die durch Berührung einer Kupfer- und Zinkplatte erzeugte, elektrische Spannungsdifferenz ist so gering, daß sie nur durch äußerst empfindliche Elektroskope nachgewiesen werden kann. Durch Übereinanderschichten einer größeren Zahl von Platten aus verschiedenen Metallen kann dieselbe nicht verstärkt werden, da (§ 306, 3) der Spannungsunterschied der ersten und letzten Platte immer nur so groß ist, als ob dieselben einander unmittelbar berührten. Volta erreichte aber eine Verstärkung der Wirkung dadurch, daß er je zwei metallische Plattenpaare durch einen nicht metallischen Leiter, z. B. durch eine mit verdünnter Schwefelsäure oder Kochsalzlösung getränkte Tuchplatte, trennte. Stellen wir uns der Einfachheit halber wieder, wie oben (§ 308), vor, daß die Flüssigkeit nur zur Leitung dient, und bezeichnen die elektrische Spannungsdifferenz (*Cu*, *Zn*) mit  $2e$ , so erhält, wenn die unterste Kupferplatte zum Boden abgeleitet, also unelektrisch ist, die erste Zinkplatte die elektrische Spannung  $+2e$ ; durch die darauf liegende, feuchte Tuchplatte wird diese Elektricität der zweiten Kupferplatte mitgeteilt, die also ebenfalls die Spannung  $+2e$  erhält. Durch Berührung mit dieser Kupferplatte erhält die zweite Zinkplatte  $+4e$  u. s. f. Sind überhaupt *n* Plattenpaare

vorhan  
Spann  
der I  
der Sä  
letzter  
Enden  
berühr  
die gl  
gesetzte  
man b  
Metalle  
(§ 308  
Ausgle  
im Inn  
Kräfte  
statt, u  
senen  
und ne  
des po  
zeichne  
durch  
Schlie  
Entladu  
In  
lappen i  
die Beri  
zeugt,  
zur Ver  
Blei  
geschlos  
merkbar  
lich, die  
aufzubau  
im Inne  
und dur  
führt w  
Teil  
erleichter  
Einfluss  
andere I  
angebe

§  
den ver  
Erleichter  
andauer  
appara  
ander g  
sind. I  
Jede Zi  
weder  
Drähte,  
Metallp  
die in  
lappen

vorhanden, so erhält die letzte Zinkplatte die Spannung  $+ 2ne$ , oder die Spannungsdifferenz an beiden Enden der Säule ist der Anzahl der Plattenpaare proportional. Würde umgekehrt das obere Ende der Säule zum Erdboden abgeleitet, das untere isoliert, so würde man an letzterem die Spannung  $- 2ne$  erhalten. Wird endlich, während beide Enden isoliert sind, die Mitte der Säule ableitend berührt, so zeigen beide Enden oder Pole der Säule die gleichen, aber dem Vorzeichen nach entgegengesetzten Spannungen  $+ ne$  und  $- ne$ . — Verbindet man beide Pole der Säule durch einen leitenden Metalldraht, so findet, wie bei der einfachen Kette (§ 308), durch den Draht hindurch eine fortwährende Ausgleichung der Spannungsdifferenz und infolge der im Innern der Säule wirksamen, elektromotorischen Kräfte eine fortwährende Wiedererzeugung derselben statt, und es cirkuliert infolgedessen in der geschlossenen Säule ein fortdauernder Doppelstrom positiver und negativer Elektrizität in entgegengesetzten Richtungen. Die Richtung des positiven Stromes ist in Fig. 259, wie immer, durch die Pfeile bezeichnet. Schließt man eine aus zahlreichen Plattenpaaren gebildete Säule durch den menschlichen Körper, so empfindet man im Augenblick des Schließens und des Öffnens eine Erschütterung, ähnlich der durch den Entladungsschlag einer schwach geladenen Leydener Flasche erzeugten.

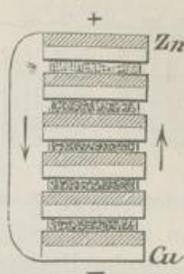
In Wirklichkeit dienen die mit Säure oder Salzlösung angefeuchteten Tuchlappen in der Säule nicht nur als Leiter der Elektrizität, sondern es werden durch die Berührung der Metalle mit der Flüssigkeit neue, elektromotorische Kräfte erzeugt, welche, wie aus den oben (§ 308) mitgetheilten Thatsachen folgt, wesentlich zur Verstärkung der Wirksamkeit der Säule beitragen.

Bleibt eine frisch zusammengesetzte Voltasche Säule während einiger Zeit geschlossen, so macht sich eine ziemlich schnelle Abnahme ihrer Wirkungen bemerkbar, und um die ursprüngliche Wirkung wiederherzustellen, ist es erforderlich, die Säule aus einander zu nehmen und nach sorgfältiger Reinigung wieder aufzubauen. Der Grund der Abnahme der Wirkung liegt in chemischen Vorgängen im Innern der Säule, welche erst später (§ 343) genauer erörtert werden können, und durch welche eine Veränderung der Oberfläche der Metallplatten herbeigeführt wird, die mit dem Namen der galvanischen Polarisation bezeichnet wird.

Teils um das lästige Auseinandernehmen und Wiederaufbauen der Säule zu erleichtern, teils um die Polarisation überhaupt zu vermeiden, oder doch ihren Einfluß möglichst zu verringern, hat man der galvanischen Kette verschiedene andere Formen gegeben, von denen einige der wichtigsten im nächsten Paragraphen angegeben werden sollen.

§ 310. Verschiedene Formen der galvanischen Kette. Unter den verschiedenen Formen, welche man den galvanischen Ketten zur Erleichterung ihres praktischen Gebrauches und Erzielung größerer und andauernder Wirkung gegeben hat, sind zunächst die Trog- und Becherapparate zu erwähnen. Letztere bestehen aus einer Reihe neben einander gestellter Glasgefäße, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind. In jedes dieser Gefäße taucht eine Kupfer- und eine Zinkplatte. Jede Zinkplatte ist mit der Kupferplatte des benachbarten Gefäßes, entweder durch Lötung, oder durch mittelst Klemmschrauben befestigte Drähte, in metallisch leitende Verbindung gesetzt. Je zwei so verbundene Metallplatten entsprechen einem Plattenpaar der Voltaschen Säule, während die in den Gefäßen enthaltene Flüssigkeit die Stelle der feuchten Tuchlappen vertritt. Der positive Strom geht hier, wie bei allen folgen-

Fig. 259.



den Ketten, vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer oder überhaupt zum negativen Metall, im Schließungsdraht der Kette dagegen kehrt der Strom vom Kupfer zum Zink zurück. — Bei dem Trogapparat sind die Glasgefäße durch einen rechteckigen Holztrug ersetzt, welcher durch

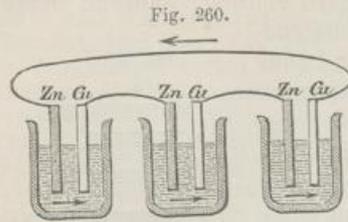


Fig. 260.

parallele Scheidewände in Zellen geteilt ist, die ausgepicht und mit Säure gefüllt werden. Die Plattenpaare werden dann zweckmäßig an einem über dem Trog angebrachten Querstab so befestigt, daß alle gleichzeitig aus der Flüssigkeit gehoben, oder in dieselbe hinabgesenkt werden können. Zu manchen Versuchen werden zweckmäßig Platten von sehr großer Oberfläche angewendet (vergl. § 318). Um nicht zu große Gefäße anwenden zu müssen, kann man ein solches Plattenpaar spiralförmig zusammenwinden, wobei die metallische Berührung der Platten durch zwischengelegte Tuchstreifen verhindert wird. Man kann so ein Plattenpaar von mehr als einem Quadratmeter Oberfläche in ein cylindrisches Gefäß von mässiger Größe bringen — sogenannte Haresche Spirale (1821).

Sehr praktisch zum Gebrauch in Laboratorien sind die sogenannten Flaschen-elemente, die im wesentlichen aus Zink und Kohle bestehen, welche sich in eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali (auf ein Liter Wasser 100 g Kaliumdichromat und 100 g Schwefelsäurehydrat) tauchen lassen.

§ 311. Konstante Ketten. Die bisher erwähnten Ketten haben den gemeinsamen Übelstand, daß ihre Wirksamkeit infolge der bereits oben (§ 309) erwähnten Polarisation schnell abnimmt und auf einen kleinen Bruchteil ihrer ursprünglichen Stärke herabsinkt. Dieser Übelstand wird vermieden bei den sogenannten konstanten Ketten, deren äußerliches Merkmal darin besteht, daß dieselben aus zwei Metallen und zwei verschiedenen Flüssigkeiten zusammengesetzt sind. Inwiefern es durch diese Kombination möglich wird, die Polarisation zu vermeiden, oder wenigstens ihren Einfluß zum größten Teil zu beseitigen, kann erst unten (§ 344) erläutert werden. Die wichtigsten Formen der konstanten Ketten sind folgende:

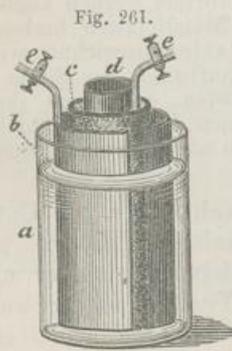


Fig. 261.

1. Die Daniellsche Kette (1836) — Kupfer in gesättigter Kupfervitriollösung und Zink in verdünnter Schwefelsäure. In dem Glasgefäß *a* (Fig. 261) steht der oben und unten offene Zinkcylinder *b*, in diesem die becherförmige, aus porösem, schwach gebranntem Thon gebildete Zelle *c*, welche in sich den Kupferblechcylinder *d* aufnimmt. Der Raum innerhalb der Thonzelle wird mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol, der äußere, das Zink enthaltende Raum mit verdünnter Schwefelsäure (1 T. engl. Schwefelsäure auf 10 T. Wasser) gefüllt.

Die Klemmschrauben *e* dienen zur Verbindung mit den benachbarten Elementen der Säule, oder mit dem Schließungsdraht. Die Kupfervitriollösung, welche sich durch die Wirkung des Stromes allmählich zersetzt (§ 341), muß stets konzentriert erhalten werden. Es ist deshalb zweckmäßig, einen Überschuss ungelösten Salzes in die Zelle zu bringen. Die Zinkcylinder werden vor der schnellen, auflösenden Einwirkung der Schwefelsäure zweckmäßig dadurch geschützt, daß man sie amalgamiert, d. h. ihre Oberfläche mit einer anhaftenden Quecksilberschicht versieht. Nachdem der Zinkcylinder in verdünnte Säure getaucht worden ist, breitet sich

das Qu  
flächeSalpe  
ihrer

das ne

Die  
elektron  
stärke

3.

Salpete

Die

Platin

fast eb

sind lei

eignet s

thönern

Die

von der

tierische

sind m

plastik

denen m

Daniel

annäher

keiten e

Ans

Vorschla

die Eige

passive

und sich

daß sich

löslichen

deshalb

§

hat sich

Flüssigk

meiden

diesem Z

zwei sol

tallischer

zogenen

Aus einig

eine Sä

Papier d

trat. Die

Seidensch

preßt, zu

Feuchtigk

und in e

versehene

solche Sä

tungsvern

selbe nu

skopischer

zeugung e

Dagegen k

an den l

des Elekt

dasselbe l

nenberg

Jochn

das Quecksilber mit großer Leichtigkeit in einer dünnen Schicht auf seiner Oberfläche aus, welche durch Bürsten gleichmäßig verteilt werden kann.

2. Die Grovesche Kette (1833) — Platin in konzentrierter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure. Dieselbe gleicht in ihrer Einrichtung völlig der Daniellschen Kette, nur ist das Kupfer durch das negativere Platin, die Kupfervitriollösung durch Salpetersäure ersetzt.

Die Grovesche Kette hat vor der Daniellschen den Vorzug einer größeren elektromotorischen Kraft, während letztere sich durch eine konstantere Stromstärke auszeichnet.

3. Die Bunsensche Kette (1842) — Kohle in konzentrierter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure.

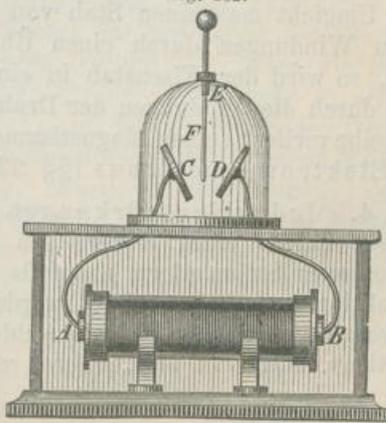
Dieselbe unterscheidet sich von der Groveschen nur dadurch, daß das teure Platin durch ein weit wohlfeileres Material, die Kohle, ersetzt ist, welche sich fast ebenso negativ verhält wie Platin (s. oben § 306). Nicht alle Arten von Kohle sind leitend und deshalb zur Verwendung in der Kette geeignet. Am besten eignet sich der Graphit, oder die bei der Leuchtgasbereitung an den Wänden der thönernen Retorten sich absetzende, sogenannte Gaskohle.

Die konstanten Ketten sind von Becquerel erfunden worden, dessen Kette von der Daniellschen nur dadurch verschieden war, daß er einen Beutel aus tierischer Blase anstelle der porösen Thonzelle anwendete. — In neuerer Zeit sind mannigfaltige, besonders für technische Zwecke — Telegraphie, Galvanoplastik u. s. w. — geeignete Formen der Kette in Anwendung gekommen, unter denen namentlich die von Meidinger (1859) angegebene, verbesserte Form der Daniellschen Kette Erwähnung verdient, welche einen sehr lange Zeit hindurch annähernd konstanten Strom liefert und nur selten eine Erneuerung der Flüssigkeiten erfordert.

Anstelle des Platins oder der Kohle kann als negatives Metall, nach dem Vorschlag von Hawkins, Gufseisen verwendet werden. Das Eisen hat nämlich die Eigenschaft, in Berührung mit konzentrierter Salpetersäure in den sogenannten passiven Zustand überzugehen, in welchem es von der Säure nicht gelöst wird und sich wie ein stark negatives Metall verhält. Diese Eigenschaft beruht darauf, daß sich das Eisen durch Einwirkung der Säure mit einer festhaftenden, unlöslichen Schicht von Eisenoxyd überzieht, welches nicht weiter oxydierbar ist und deshalb ein elektronegatives Verhalten zeigt (vergl. § 344).

§ 312. Trockene, Zambonische Säule. Säulenelektroskop. Man hat sich bestrebt, wegen der Unbequemlichkeiten, welche die Anwendung der Flüssigkeiten in der Voltaschen Säule mit sich bringt, dieselben ganz zu vermeiden und durch trockene Leiter zu ersetzen. Zamboni (1812) wendete zu diesem Zweck kreisrunde Blättchen aus unechtem Gold- und Silberpapier an. Je zwei solcher Blättchen wurden mit den metallischen — mit Tombak und Zinn überzogenen — Flächen auf einander gelegt. Aus einigen Tausenden solcher Paare wurde eine Säule aufgeschichtet, in welcher das Papier die Stelle des feuchten Leiters vertrat. Die ganze Säule wurde dann durch Seidenschnüre möglichst fest zusammengepresst, zum Schutz gegen die atmosphärische Feuchtigkeit äußerlich mit Firnis überzogen und in eine beiderseits mit Metallkappen versehene Glasröhre eingeschlossen. Eine solche Säule ist wegen des geringen Leitungsvermögens des Papiers, welches dasselbe nur der darin enthaltenen, hygroskopischen Feuchtigkeit verdankt, zur Erzeugung elektrischer Ströme nicht geeignet. Dagegen können die Spannungserscheinungen an den Polen der offenen Säule mittelst des Elektroskops leicht nachgewiesen werden. Eine besondere Anwendung hat dasselbe bei der Konstruktion des von Behrens angegebenen, später von Bohnenberger, Fechner u. ä. verbesserten Säulenelektroskops erfahren. In

Fig. 262.



einem hölzernen, zweckmäßig mit Glasscheiben versehenen Kasten liegt die Zambonische Säule *AB* (Fig. 262), deren beide Pole isoliert sind und durch Metalldrähte mit den Messingplatten *C, D* in Verbindung stehen. Von dem mit dem Knopf des Elektroskops verbundenen Metalldraht *E* hängt das Goldblattstreifen *F* herab, welches zwischen den Polplatten *C, D* schwebt. Wird dem Elektroskop ein elektrischer Körper genähert, so wird das Goldblättchen vom positiven oder negativen Pol angezogen, je nachdem der Körper negative oder positive Elektrizität besitzt.

### § 313. Übersicht der Wirkungen des elektrischen Stromes.

1. Wärme- und Lichterscheinungen. Verbindet man die Pole einer aus einem oder mehreren Elementen gebildeten, galvanischen Kette durch einen Metalldraht, so wird dieser durch den elektrischen Strom erwärmt. Wenn der Draht dünn und die Kette kräftig genug ist, so kann die Erwärmung bis zum Glühen und Schmelzen des Drahtes gesteigert werden (§ 335).

Im Augenblick, wo die metallische Leitung an einer Stelle unterbrochen und dadurch der Schließungskreis der Kette geöffnet wird, zeigt sich an der Unterbrechungsstelle ein Öffnungsfunke (§ 336).

2. Chemische Wirkungen. Taucht man zwei mit den Polen einer aus mehreren Elementen gebildeten Kette verbundene Platindrähte in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure, so findet an beiden Poldrähten eine Gasentwicklung statt. Die nähere Untersuchung lehrt, daß an dem positiven Poldraht Sauerstoffgas, am negativen Wasserstoffgas abgeschieden wird, und zwar stehen die Mengen der beiden abgeschiedenen Gase in demselben Verhältnis, in welchem sie im Wasser chemisch vereinigt sind (1 Vol. O und 2 Vol. H). Ähnliche, chemische Einwirkungen erfahren alle anderen flüssigen, chemischen Verbindungen, welche den Strom zu leiten imstande sind, und welche oben (§ 308) als Leiter zweiter Klasse bezeichnet wurden (§§ 339—344).

3. Magnetische Wirkungen. Eine in der Nähe des Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette aufgehängte Magnetnadel wird durch die Wirkung des Stromes von ihrer ursprünglichen Richtung in der Weise abgelenkt, daß sie sich senkrecht zur Richtung des Stromes zu stellen strebt (§§ 314—317).

Umgibt man einen Stab von weichem Eisen mit einer Drahtspirale, deren Windungen durch einen Überzug von Seide von einander isoliert sind, so wird der Eisenstab in einen kräftigen Magnet verwandelt, wenn man durch die Windungen der Drahtspirale einen galvanischen Strom leitet. Derselbe verliert seinen Magnetismus wieder bei Unterbrechung des Stromes. — Elektromagnetismus (§§ 321—329).

4. Induktionswirkungen. Im Augenblick des Entstehens oder Verschwindens eines elektrischen Stromes werden in benachbarten, geschlossenen Stromleitern ebenfalls elektrische Ströme erzeugt, welche als Induktionsströme bezeichnet werden. Ähnliche Induktionsströme werden hervorgerufen, indem einem geschlossenen Stromleiter ein Magnetstab angenähert, oder von ihm entfernt wird (§§ 330—334).

5. Physiologische Wirkungen. Die galvanischen Ströme üben auf den menschlichen und tierischen Organismus Wirkungen aus, welche den durch Reibungselektrizität erzeugten im allgemeinen analog sind, und welche namentlich im Augenblick des Entstehens und Verschwindens

eines elektrischen Stromes hervortreten. Besonders sind die Induktionsströme zur Erzeugung kräftiger, physiologischer Wirkungen geeignet (§§ 334, 345).

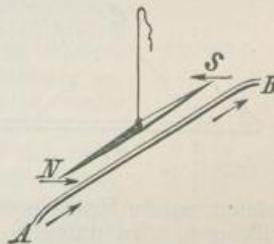
A. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.

§ 314. Wir beginnen mit der näheren Betrachtung der magnetischen Wirkungen des Stromes, weil dieselben das beste Hilfsmittel zur Messung der Stromstärke und zur Untersuchung der Gesetze, welchen die Entstehung elektrischer Ströme unterworfen ist, darbieten.

a. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Messung und allgemeine Gesetze der Stromstärke.

§ 315. Ablenkung der Magnetnadel; Ørsted's Versuch; Ampèresche Regel. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom wurde i. J. 1820 von Ørsted (1777—1851) zu Kopenhagen entdeckt. Über einem horizontal und in der Richtung des magnetischen Meridians ausgespannten Kupferdraht *AB* (Fig. 263) sei eine Magnetnadel an einem Seidenfaden horizontal schwebend aufgehängt. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird dieselbe dem Draht parallel gerichtet. Wird jetzt durch den Draht *AB* ein elektrischer Strom geleitet, so daß der positive Strom in der Richtung der Pfeile von *N* nach *S* fließt, so beobachtet man, daß die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage abweicht und zwar so, daß das Nordende der Nadel nach Westen (in der Figur nach rechts), das Südende nach Osten (links) abgelenkt wird. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, so erfolgt die Ablenkung der Nadel im entgegengesetzten Sinne.

Fig. 263.

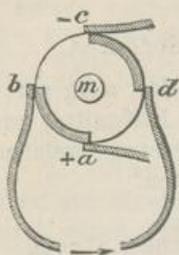


Ist der Strom stark genug, so stellt sich die Nadel fast senkrecht zur Richtung des Drahtes, bei geringerer Stromstärke, oder bei größerer Entfernung vom Draht nimmt dieselbe eine mittlere, unter einem mehr oder minder großen, spitzen Winkel gegen den Draht geneigte Lage an. Wird die Nadel nicht über, sondern unter dem Draht aufgehängt, so weicht bei der durch die Pfeile bezeichneten Stromrichtung der Nordpol nach Osten (links), der Südpol nach Westen (rechts) ab. Wird die Nadel in gleicher Höhe mit dem Draht auf der Ostseite aufgehängt, so erfährt das Nordende eine Ablenkung nach oben, auf der Westseite des Drahtes nach unten. Durch Wechsel der Stromesrichtung geht in jedem Fall die Ablenkung in die entgegengesetzte über. Ampère hat folgende, leicht zu merkende Regel angegeben, durch welche in jedem Fall die Richtung der Ablenkung bestimmt wird: Man denke sich selbst in den Strom versetzt, so daß der positive Strom bei den Füßen eintritt und am Kopfe austritt, das Gesicht sei dem Nordende der Magnetnadel zugewendet, so wird dieses jederzeit nach der linken Seite des Beobachters abgelenkt.

Zum schnellen und bequemen Wechsel der Stromesrichtung im Schließungskreise einer galvanischen Kette bedient man sich des sogenannten Stromwenders oder Kommutators. Von den mannigfaltigen Formen, welche man diesem gegeben hat, soll hier nur eine der einfachsten erwähnt werden; *abcd* (Fig. 264) stellt den Querschnitt eines aus nichtleitender Substanz gebildeten

Cylinders vor, der um seine Axe *m* gedreht werden kann. In die Oberfläche desselben sind die leitenden Metallstreifen *ab* und *cd* eingelegt. Bei *a*, *b*, *c* und *d* schleifen auf der Oberfläche der Walze vier elastische Federn aus gehärtetem Messingblech, von denen zwei gegenüberstehende, *a* und *c*, mit den Polen der Kette, die beiden anderen aber mit dem Schließungsbogen verbunden sind. Bei der gezeichneten Stellung der Walze steht *b* mit *a*, *d* mit *c* in leitender Verbindung, und der positive Strom durchläuft den Schließungsbogen in der Richtung des Pfeiles. Wird die Walze 90° um ihre Axe gedreht, so werden diese Verbindungen aufgehoben, dagegen tritt *d* mit *a* und *c* mit *b* in leitende Verbindung, der Strom cirkuliert daher im Schließungsbogen in umgekehrter Richtung. (Der Gyrotrop von Pohl, 1828.)

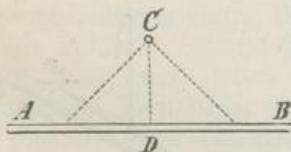
Fig. 264.



Eine wichtige Bemerkung über die Richtung der von einem elektrischen Strom auf einen Magnetpol ausgeübten Kraft mag hier Platz finden. Alle Kräfte, deren Wirkungen

bisher erläutert worden sind, zerfallen in Anziehungs- und Abstofsungskräfte, welche die auf einander wirkenden Körper in der Richtung ihrer Verbindungslinie einander zu nähern oder von einander zu entfernen streben — so z. B. die allgemeine Massenanziehung oder Gravitation, die zwischen elektrischen Körpern oder Magnetpolen wirkenden Anziehungs- und Abstofsungskräfte. Die Wirkung dagegen, welche ein geradliniger, von einem elektrischen Strom durchflossener Leitungsdraht *AB* (Fig. 265) auf einen in *C* befindlichen Magnetpol ausübt, ist weder eine anziehende, noch eine abstofsende. Dieselbe steht senkrecht zu den von *C* nach den Punkten der Geraden *AB* gezogenen Verbindungslinien, oder ihre Richtung ist senkrecht auf der durch den geradlinigen Stromleiter *AB* und den Magnetpol *C* gelegten Ebene. Könnte man die beiden Pole einer Magnetsadel von einander trennen, so würden beide den Draht in immer gleicher Entfernung (abgesehen vom Beharrungsvermögen) zu umkreisen streben. Auf welche Weise man dazu

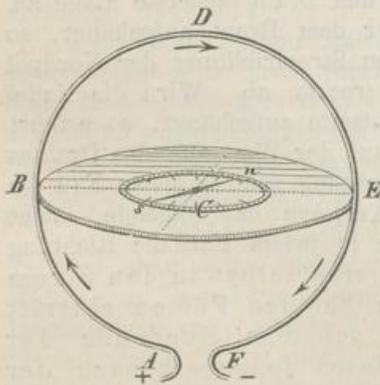
Fig. 265.



gelangt, solche Kreisbewegungen der Magnetpole um Stromleiter wirklich hervorzubringen, wird unten (§ 327) erläutert werden.

§ 316. Tangentenbusssole. (Pouillet, 1837.) Auf der ablenkenden Wirkung, welche der elektrische Strom auf die Magnetnadel ausübt,

Fig. 266.



beruht der Gebrauch eines der wichtigsten Instrumente zur Messung der Stärke oder Intensität elektrischer Ströme, der Tangentenbusssole. Ein kreisförmig gebogener Metalldraht *ABDEF* (Fig. 266) sei so aufgestellt, daß die Ebene des Kreises vertikal ist und mit der Ebene des magnetischen Meridians (§ 299) zusammenfällt. Die von einander isolierten Drahtenden *A* und *F* können mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt werden. Inmitten des Drahtkreises schwebt die in horizontaler Richtung freidrehbare Magnetnadel *sm*, deren Axe in ihrer Ruhelage in der Ebene des magnetischen Meridians, also in der Ebene des Drahtkreises, liegt. Ein durch den Draht geleiteter Strom wirkt ablenkend auf die Nadel und zwar ist, wenn man sich nach der Ampèreschen Regel (§ 315) im Strom herumschwimmend denkt, leicht ersichtlich, daß alle Teile des Kreisstromes in gleichem Sinne ablenkend wirken. Der

Winke  
kann  
Derse  
Stärke  
geleit  
Zu die  
die Gr  
abhäng  
werden  
winke  
instrum

Ein  
größer  
Sekunde  
als der  
wird an  
Ströme  
gleich  
oder we  
zeichnet

Es  
Stromkr  
drehbar  
Lage.  
werden,  
gewicht  
drehen  
recht au  
in die  
tende V  
des Stro  
die auf  
DG = T  
ablenken  
kung be  
Ebenso  
den Krä  
gleich, d  
der Heb  
gebildete  
Moment  
beider K  
fallen. I  
Winkel  
Ströme d  
und der  
behält:

oder die  
trigono  
Bezeichn  
von 45°

oder, da

Bei obige  
Stromstär  
Fall, wer

Winkel, um welchen die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, kann an einer unter derselben angebrachten Gradtheilung abgelesen werden. Derselbe wächst mit der Stromstärke und kann daher dazu dienen, die Stärke verschiedener Ströme, welche nach einander durch den Kreisdraht geleitet werden, zu vergleichen, oder die Stromintensitäten zu messen. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, das Gesetz zu kennen, nach welchem die Größe des Ablenkungswinkels von der Stärke des elektrischen Stromes abhängt: Die Stromstärke ist, wie durch einfache Betrachtungen gezeigt werden kann, der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Von diesem Umstand hat das wichtige Messinstrument den Namen der Tangentenbussole erhalten.

Ein elektrischer Strom besitzt um so größere Stärke oder Intensität, je größer die Elektrizitätsmenge ist, welche in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Sekunde, durch den Leitungsdraht fließt. Ein Strom ist 2, 3 . . .  $n$ mal so stark als der andere, wenn diese Elektrizitätsmenge 2, 3 . . .  $n$ mal so groß ist. Man wird annehmen dürfen, daß die ablenkenden Kräfte, welche zwei verschiedene Ströme auf einen in der Nähe befindlichen Magnetpol ausüben, unter übrigens gleichen Umständen in demselben Verhältnis stehen, wie die Stromintensitäten, oder wenn diese Kräfte mit  $S_1$  und  $S_2$ , die Stromintensitäten mit  $i_1$  und  $i_2$  bezeichnet werden, so wird  $S_1 : S_2 = i_1 : i_2$  sein.

Es stelle nun  $AB$  (Fig. 267) den Horizontaldurchschnitt der Ebene des Stromkreises einer Tangentenbussole vor, und  $DE$  sei die Richtung der um  $C$  drehbaren Magnetnadel in ihrer durch den Strom abgelenkten Lage. Die Nadel kann als ein um  $C$  drehbarer Hebel betrachtet werden, welcher sich unter Einfluß zweier Kräftepaare im Gleichgewicht befindet, die denselben in entgegengesetzter Richtung zu drehen streben. Die ablenkende Kraft des Stromes steht senkrecht auf der Ebene des Stromkreises  $AB$  und strebt die Nadel in die Richtung von Ost nach West zu stellen, während die richtende Wirkung des Erdmagnetismus dieselbe in die Ebene des Stromkreises zurückzuführen strebt. Wir betrachten zunächst die auf den Nordpol  $D$  der Nadel wirkenden Kräfte. Es stelle  $DG = T$  die richtende Kraft des Erdmagnetismus,  $DF = S$  die ablenkende Kraft des Stromes vor. Die gemeinschaftliche Wirkung beider kann durch die Resultierende  $DK$  ersetzt werden. Ebenso stellt  $EL$  die Resultierende der auf den Südpol wirkenden Kräfte dar, welche der Resultierenden  $DK$  der Größe nach gleich, der Richtung nach parallel und entgegengesetzt ist. Damit der Hebel unter der Einwirkung des von beiden Resultierenden gebildeten Kräftepaares (§ 50) im Gleichgewicht sei, ist erforderlich, daß das Moment des Paares gleich Null sei, was nur möglich ist, wenn die Richtungen beider Kräfte mit der magnetischen Axe der Nadel  $DE$  in eine gerade Linie fallen. Ist  $\alpha = ACD$  der Ablenkungswinkel der Nadel, so ist im Dreieck  $GDK$  Winkel  $GDK = \alpha$ , mithin  $S = T \cdot \tan \alpha$ . Leitet man nach einander zwei Ströme durch den Kreisdraht der Tangentenbussole, deren Intensitäten  $i_1$  und  $i_2$  und deren ablenkende Kräfte  $S_1$  und  $S_2$  sind, so ist, da  $T$  denselben Wert behält:

$$i_1 : i_2 = S_1 : S_2 = \tan \alpha_1 : \tan \alpha_2,$$

oder die Intensitäten beider Ströme sind, wie oben behauptet wurde, den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel proportional. Bezeichnet man mit  $a$  die Intensität desjenigen Stromes, welcher eine Ablenkung von  $45^\circ$  hervorbringt, so hat man für einen beliebigen anderen Strom:

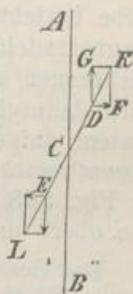
$$i : a = \tan \alpha : \tan 45^\circ,$$

oder, da  $\tan 45^\circ = 1$  ist,

$$i = a \cdot \tan \alpha.$$

Bei obiger Entwicklung ist vorausgesetzt worden, daß die ablenkende Kraft  $S$  der Stromstärke  $i$  proportional sei. Dies ist jedoch, streng genommen, nur dann der Fall, wenn die Lage des Magnetpols gegen den Stromkreis in beiden Fällen die-

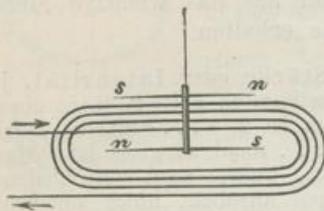
Fig. 267.



selbe ist, während sich in Wirklichkeit die Entfernung der Pole von den einzelnen Teilen des Stromkreises mit der Größe des Ablenkungswinkels ändert. Der Einfluß dieses Umstandes kann jedoch ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden, wenn die Länge der Nadel nicht mehr als etwa den sechsten Teil vom Durchmesser des Stromkreises beträgt.

§ 317. Multiplikator, Galvanometer. Zur Wahrnehmung und Messung sehr schwacher elektrischer Ströme dient der von Schweigger (1820) und Poggendorff (1821) erfundene Multiplikator. Man verstärkt nämlich die Wirkung des Stromes auf

Fig. 268.



die Magnetnadel dadurch, daß man denselben nicht nur in einfachem Umkreise, sondern in zahlreichen Windungen um die Magnetnadel laufen läßt und diese der Nadel möglichst nahe bringt. Der Leitungsdraht wird zu diesem Zweck in mehr oder minder zahlreichen Windungen um ein rechteckiges Holzrähmchen gewunden, in dessen Innerem die Nadel schwebt (Fig. 268). Damit der Strom den Draht der ganzen Länge nach durchlaufe und nicht von einer Windung unmittelbar zur benachbarten übergehen könne, müssen die Drahtwindungen durch Umspinnen mit Seide von einander isoliert sein. Die Empfindlichkeit des Apparates wurde noch beträchtlich erhöht, seitdem Nobili (1824) anstelle der einfachen Magnetnadel eine sogenannte astatiche Nadel zur Anwendung brachte. Dieselbe besteht aus einem System von zwei mit einander fest verbundenen Magnetnadeln mit parallelen Axen, deren Pole nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind. Sind beide Nadeln gleich stark magnetisiert, so wird dadurch die richtende Wirkung des Erdmagnetismus auf das Nadel-system aufgehoben. Die Wirkungen des Stromes auf beide Nadeln dagegen verstärken einander, wenn das System so aufgehängt ist, daß, wie in Fig. 268 angedeutet, die untere Nadel im Innern des Drahtgewindes, die obere dagegen über demselben schwebt.

Das Gesetz, nach welchem der Ablenkungswinkel der Magnetnadel mit wachsender Stromstärke zunimmt, ist beim Galvanometer weniger einfach, als bei der Tangentenbussole, und muß für jedes Instrument durch besondere Versuche ermittelt werden. Bei Ablenkungen von wenigen Graden darf man die Stromstärke dem Ablenkungswinkel proportional annehmen, dann aber wächst die Ablenkung in geringerem Verhältnis als die Stromstärke. Man hat Multiplikatoren von 30—40000 Windungen hergestellt. — In neuerer Zeit sind für genauer messende Versuche die Spiegelgalvanometer in Anwendung gekommen, deren Gebrauch auf der von Poggendorff angegebenen Spiegelablesung (§ 302) beruht. Im Innern des Multiplikatorgewindes ist dabei ein magnetisierter Stahlspiegel aufgehängt, in welchem man, mittelst eines in geeigneter Entfernung aufgestellten Fernrohrs, das Spiegelbild einer in Millimeter getheilten Skala beobachtet.

§ 318. Gesetze der Stromstärke. Ohmsches Gesetz. Die Tangentenbussole kann dazu dienen, die Gesetze, von welchen die Intensität elektrischer Ströme abhängt, zu ermitteln. Schaltet man in den Schließungsbogen der galvanischen Kette eine Tangentenbussole ein, so ist die Ablenkung der Magnetnadel einerseits von der Beschaffenheit der Kette selbst, nämlich von der Art und Anzahl ihrer Elemente, andererseits von der Beschaffenheit des Schließungsbogens abhängig. Je länger und dünner nämlich der Schließungsdraht gewählt wird, desto kleiner wird die Ablenkung der Magnetnadel, woraus man schließen muß,

dafs  
Wid  
wächs  
G. S  
der S  
Kräf  
geke  
tromo  
zeich

Di  
gesetz  
der K  
Bescha  
Elemen  
elektro  
D  
von d  
heißt  
aufse  
eines  
bezeich  
die St

Von d  
führn  
von d  
ein se  
größt  
wird g  
und d  
mind

U  
vergrö  
versch  
der E  
oder d  
der K  
welche  
äußere  
Forme  
innere  
rung  
werden  
ment  
äußere  
versch  
gebrac

lichen  
gesteig  
demsel  
mente  
in dies  
(Hare  
M

dafs der elektrische Strom bei seinem Durchgang durch den Draht einen Widerstand zu überwinden hat, welcher mit der Länge des Drahtes wächst und um so gröfser ist, je geringer der Querschnitt des Drahtes. G. S. Ohm hat (1827) das Gesetz aufgestellt, dafs die Stromintensität der Summe aller in der Kette wirksamen, elektromotorischen Kräfte direkt, der Summe aller Leitungswiderstände aber umgekehrt proportional ist. Wird die Stromintensität mit  $J$ , die elektromotorische Kraft der Kette mit  $E$ , der Gesamtwiderstand mit  $W$  bezeichnet, so wird das Gesetz durch die Formel ausgedrückt:

$$1. \quad J = \frac{E}{W}.$$

Die elektromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes einer zusammengesetzten Kette hängt, wie oben (§ 308) erläutert, sowohl von der Stellung der zu der Kette verwendeten Metalle in der elektrischen Spannungsreihe, als von der Beschaffenheit der Flüssigkeiten der Kette ab. Besteht die Kette aus  $n$  gleichen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft  $e$  besitzt, so ist die gesamte elektromotorische Kraft  $E = ne$ .

Der Leitungswiderstand rührt theils von dem Schließungsbogen, theils von den Elementen der Kette selbst her. Der Widerstand in der Kette heifst der innere oder wesentliche, der Widerstand im Schließungsbogen der äußere oder auferwesentliche Widerstand. Wird der innere Widerstand eines Elementes der Kette mit  $w$ , der Widerstand des Schließungsbogens mit  $L$  bezeichnet, und besteht die Kette aus  $n$  Elementen, so geht die obige Formel für die Stromstärke über in:

$$2. \quad J = \frac{ne}{nw + L} \quad \text{oder auch} \quad 3. \quad J = \frac{e}{w + \frac{1}{n}L}.$$

Von dem Widerstand der Teile des Schließungsbogens wird unten (§ 319) ausführlicher die Rede sein. Der innere Widerstand der Kette rührt hauptsächlich von den flüssigen Leitern derselben her, welche, wie unten (§ 320) gezeigt wird, ein sehr viel geringeres Leitungsvermögen besitzen als die Metalle. Durch Vergrößerung der Oberfläche der in die Flüssigkeit eingetauchten Metallplatten wird der Querschnitt der vom Strom durchflossenen Flüssigkeitssäule vergrößert und dadurch der wesentliche Widerstand in demselben Verhältnis vermindert.

Um bei gegebenem Widerstand des Schließungsbogens  $L$  die Stromstärke  $J$  zu vergrößern, stehen, wie aus der Betrachtung der Formeln 2) und 3) hervorgeht, zwei verschiedene Mittel zu Gebote, nämlich entweder durch Vermehrung der Anzahl der Elemente die elektromotorische Kraft der Kette zu vergrößern, oder durch Vergrößerung der Plattenoberfläche den wesentlichen Widerstand der Kette zu vermindern. Aus der Betrachtung der Formeln ergiebt sich auch, welches von beiden Mitteln in jedem Fall das zweckmäfsigere ist. Ist nämlich der äußere Widerstand  $L$  sehr groß, wie z. B. bei Telegraphenleitungen, so dafs in Formel 2) das Glied  $nw$  gegen  $L$  verschwindet, so würde die Verminderung des inneren Widerstandes geringen Nutzen gewähren; dagegen würde durch Vermehrung der Anzahl der Elemente die Stromstärke in demselben Verhältnis vermehrt werden. Man wendet also bei Telegraphenleitungen möglichst zahlreiche Elemente mit mäfsiger Oberfläche der Platten an. — Ist umgekehrt der äußere Widerstand  $L$  so klein, dafs er gegen den inneren Widerstand der Kette verschwindet, wie z. B., wenn ein kurzer Metalldraht zum Glühen oder Schmelzen gebracht werden soll, so würde eine vermehrte Anzahl der Elemente keinen wesentlichen Nutzen gewähren, indem die Stromstärke dadurch nie über das Maximum  $\frac{e}{w}$  gesteigert werden kann (Formel 3). Dagegen wird die Stromstärke nahezu in demselben Verhältnis wachsen, in welchem der Widerstand  $w$  der einzelnen Elemente vermindert, also ihre Plattenoberfläche vergrößert wird. Man wendet also in diesem Fall wenige Elemente mit sehr großer Plattenoberfläche an (Hares Spirale § 310).

Mehrere einzelne Elemente können entweder, wie in § 310 angegeben, hinter

einander geschaltet werden, indem man das negative Metall jedes Elementes mit dem positiven des folgenden verbindet, oder man kann dieselben parallel schalten, indem sämtliche positive (Zink-)Platten unter sich und sämtliche negative (Kupfer-)Platten unter sich in leitende Verbindung gesetzt werden. Im letzteren Fall wirken alle verbundenen Elemente zusammen wie ein einziges Element mit  $n$ mal vergrößerter Plattenoberfläche, also mit  $n$ mal kleinerem inneren Widerstand, während im ersten Fall sowohl die elektromotorische Kraft als der innere Widerstand  $n$ mal größer ist, als bei einem einzelnen Element. — Zwölf Elemente können auf mannigfaltige Weise, z. B. zu  $12 \times 1$ , zu  $6 \times 2$ , zu  $4 \times 3$ , zu  $3 \times 4$ , u. s. w. gruppiert werden. Es läßt sich erweisen, daß man bei gegebener Gesamtoberfläche der Platten und gegebenem Widerstand des Schließungsbogens die möglichst große Stromstärke erhält, indem man die Elemente so mit einander verbindet, daß der gesamte innere Widerstand der Kette gleich ist dem gesamten äußeren Widerstand des Schließungsbogens.

§ 319. Leitungswiderstand der Metalle. Der Schließungsbogen der Kette ist in der Regel aus mehreren auf einander folgenden metallischen oder auch flüssigen Leitern von verschiedener Beschaffenheit zusammengesetzt. Der gesamte äußere Widerstand ist dann gleich der Summe der Widerstände seiner Bestandteile. Der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes ist seiner Länge direkt, seinem Querschnitt aber umgekehrt proportional. Außerdem aber ist derselbe von der Beschaffenheit des Metalles abhängig, indem sich die verschiedenen Metalle durch ihr spezifisches Leitungsvermögen unterscheiden. Schaltet man z. B. in den Schließungsbogen derselben Kette nach einander gleich lange und gleich dicke Drähte aus Silber, Eisen und Platin ein, so bewirkt der Silberdraht die geringste, der Platindraht aber die größte Verminderung der Stromstärke, woraus folgt, daß Silber ein größeres Leitungsvermögen als Eisen und dieses ein größeres als Platin besitzt.

Um die Leitungswiderstände verschiedener Drähte zu vergleichen und das spezifische Leitungsvermögen der Metalle zu bestimmen, kann man sich folgender Methode bedienen: Man schaltet in den Schließungsbogen einer Kette eine Tangentenbussole und außerdem den Draht ein, dessen Leitungswiderstand gemessen werden soll, und beobachtet den Ablenkungswinkel. Nachdem man sodann den zu messenden Widerstand aus dem Schließungsbogen entfernt hat, ersetzt man denselben durch einen Neusilber- oder Platindraht, dessen Länge beliebig abgeändert werden kann. Man reguliert nun diese Länge so, daß die Ablenkung wieder ebenso groß ist, wie im ersten Falle. Der Widerstand des Drahtes, dessen Leitungsvermögen bestimmt werden soll, ist dann gleich dem des Platindrahtes, durch welchen er ersetzt wird, und die Länge des eingeschalteten Platindrahtes giebt ein Maß für den Widerstand. Um die Länge des zur Vergleichung dienenden Platin- oder Neusilberdrahtes leicht abändern und messen zu können, dient der Rheostat von Wheatstone (1843). Der zur Vergleichung dienende Draht ist in einer Schraubenlinie um eine nichtleitende Walze aus Marmor oder gefirnifstem Holz gewunden, welche um ihre Axe gedreht werden kann. An derselben befindet sich eine Vorrichtung, durch welche bei jeder Umdrehung der Walze eine Windung des Schraubendrahtes in den Stromkreis eingeschaltet, oder aus demselben herausgenommen wird. Am Umfang der Walze ist eine Teilung angebracht, an welcher noch die Hundertstel einer Umdrehung abgelesen werden können. Sind z. B., um die Widerstände zweier Metalldrähte zu ersetzen, beziehungsweise 7,2 und 12,6 Windungen des Rheostatendrahtes erforderlich, so stehen ihre Widerstände im Verhältnis von 7,2 : 12,6 oder 4 : 7. Um die Resultate der mit verschiedenen Apparaten angestellten Messungen unter einander vergleichbar zu machen, kann man, nach dem Vorschlag von Siemens (1849), als gemeinsame Widerstandseinheit den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt wählen (vergl. § 320a).

Eine zweite genauere und allgemein übliche Methode der Bestimmung des Leitungswiderstandes gründet sich auf die Stromverzweigungen, von denen im nächsten Paragraphen die Rede ist.

§  
Teilt s  
mehr  
Gesetz  
a.  
strom  
strome

denn  
Elektri

b.  
Figur  
und d  
gleich  
kreise  
rische

D  
die in  
bildend  
rischen  
 $w_1$  und  
Leitern  
tromote  
und in

zunehm

demnac

und eb

Die  
Verzwei  
welche  
i bei A  
(Gl. 2) f  
A2BK  
wi +  
woraus:  
(ww, +  
herzuleit  
gungspu

ist, so e

und dar  
drähten.  
werden  
nämlich:

Aus den  
dieselbe

§ 319a. Fortsetzung. Stromverzweigung (Kirchhoff, 1845).  
Teilt sich ein Leitungsdraht in einem beliebigen Punkt  $M$  in zwei (oder mehrere) Zweige, so ergeben sich für die Verteilung des Stromes die Gesetze:

a. Die Zweigströme sind zusammen so stark wie der Hauptstrom, d. h. wenn die Intensitäten der ersteren  $i_1$  und  $i_2$ , die des Hauptstromes  $i$  sind, so hat man:

$$1. \quad i_1 + i_2 = i,$$

dem eine Änderung der Gesamtintensität würde eine Anhäufung von Elektrizität bei  $M$  zur Folge haben.

b. Bildet eine Anzahl von Stromleitern eine geschlossene Figur, so ist die Summe der Produkte aus ihren Stromstärken und den zugehörigen Widerständen gleich der Summe aller im Stromkreise vorhandenen elektromotorischen Kräfte.

Denn sind etwa (Fig. 269)  $E_1$  und  $E_2$  die in den beiden, ein geschlossenes System bildenden, Leitern wirkenden elektromotorischen Kräfte,  $i_1$  und  $i_2$  die Stromstärken,  $w_1$  und  $w_2$  die Widerstände in den beiden Leitern  $A1a$  und  $B2b$ ,  $A-a (= e_1)$  und  $B-b (= e_2)$  bezüglich die elektromotorische Kraft oder der Spannungsunterschied (§ 307) in dem ersten und in dem zweiten Leiter, so hat man nach dem Ohmschen Gesetz (§ 318):

$$i_1 w_1 = A-a \quad \text{und} \quad i_2 w_2 = B-b;$$

nunmehr ist aber:

$$E_1 = A-b \quad \text{und} \quad E_2 = B-a;$$

demnach ergibt sich:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = E_1 + E_2,$$

und ebenso allgemein:

$$2. \quad \sum iw = \sum E.$$

Die beiden Kirchhoffschen Sätze dienen zur Bestimmung von  $i_1$  und  $i_2$  der Verzweigungen  $A1B$  und  $A2B$  (Fig. 269a), in welche sich ein Hauptstrom  $E$  von der Stärke  $i$  bei  $A$  und  $B$  zerteilt. Man erhält nämlich (Gl. 2) für die beiden Stromkreise  $KA1BK$  und  $KA2BK$  bezüglich:

$$wi + w_1 i_1 = E \quad \text{und} \quad wi + w_2 i_2 = E,$$

woraus:

$(w w_1 + w w_2) i + w_1 w_2 (i_1 + i_2) = (w_1 + w_2) E$  herzuweisen ist, und weil für den Verzweigungspunkt  $A$  (Gl. 1)

$$i = i_1 + i_2$$

ist, so ergibt sich:

$$i = \frac{(w_1 + w_2) \cdot E}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2},$$

und daraus durch Einsetzen auch die Stromstärken  $i_1$  und  $i_2$  in den Zweigdrähten. Sind die letzteren so lang, daß  $w$  gegen  $w_1$  und  $w_2$  vernachlässigt werden darf, so werden die Ausdrücke für die Stromstärken besonders einfach, nämlich:

$$i = \frac{(w_1 + w_2) E}{w_1 w_2}, \quad i_1 = \frac{E}{w_1}, \quad i_2 = \frac{E}{w_2}.$$

Aus den Ausdrücken für  $i_1$  und  $i_2$  geht hervor, daß die Stärke der Zweigströme dieselbe ist, als wenn man die Zweigdrähte einzeln zur Schließung des Stromes

Fig. 269.

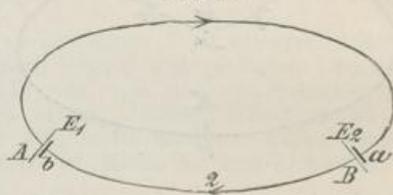
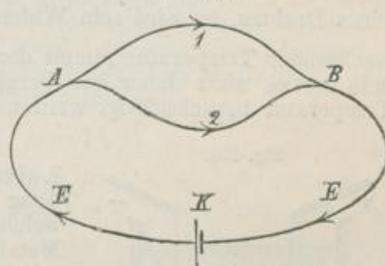


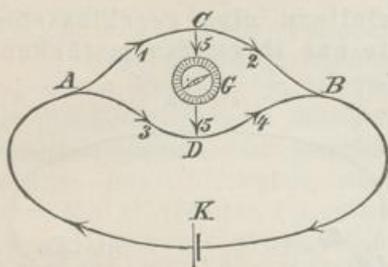
Fig. 269a.



verwendete. Man kann darum dieselbe Batterie gleichzeitig zum Telegraphieren auf mehreren Leitungsdrähten benutzen.

Stromverzweigungen dienen auch zur Widerstandsmessung mittelst der Wheatstoneschen Brücke. Der Schließungsbogen der Kette *K* (Fig. 269b) ist in die beiden Zweige *ACB* und *ADB* geteilt, welche durch den Querdraht *CD* verbunden sind. Es entstehen dadurch die vier Abschnitte *AC*, *CB*, *AD*, *DB*, deren Widerstände der Reihe nach mit  $w_1, w_2, w_3, w_4$  bezeichnet werden, der Widerstand im Querdraht *CD* sei  $w_5$ ; entsprechend seien die Stromstärken in den fünf Zweigdrähten  $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5$ . Es läßt sich jetzt leicht darthun, daß in dem Querdraht *CD* kein Strom stattfindet, wenn  $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$  ist, und umgekehrt. Soll nämlich  $i_5 = 0$  sein, so wird, weil (Gl. 1) für die Verzweigungen bei *C* und *D*

Fig. 269b.



$$i_1 = i_2 + i_5 \quad \text{und} \quad i_3 = i_4 - i_5$$

sein muß:

$$i_1 = i_2 \quad \text{und} \quad i_3 = i_4,$$

und nunmehr (Gl. 2) in den geschlossenen Stromkreisen *ACD* und *BCD*, in denen neue elektromotorische Kräfte nicht eintreten, also  $\Sigma E$  verschwindet:

$$i_1 w_1 + i_5 w_5 - i_3 w_3 = 0$$

$$\text{und} \quad i_2 w_2 - i_4 w_4 - i_5 w_5 = 0,$$

folglich, weil  $i_5 = 0$  ist:

$$i_1 w_1 = i_3 w_3 \quad \text{und} \quad i_2 w_2 = i_4 w_4,$$

und demnach durch Division

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}.$$

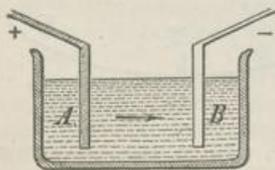
Wird also z. B.  $w_1 = w_3$  gemacht, so muß auch  $w_2 = w_4$  sein. Schaltet man nun in den Stromzweig *CD* ein empfindliches Galvanometer ein, so wird dieses keine Ablenkung zeigen, sobald die angegebene Bedingung erfüllt ist. Bringt man also in den Zweig *BC* einen Rheostaten, in den Zweig *DB* den Draht, dessen Widerstand gemessen werden soll, und reguliert die Stellung des ersteren, so daß das Galvanometer keine Ablenkung zeigt, so giebt die Anzahl der eingeschalteten Windungen des Rheostaten ein Maß für den Widerstand des Drahtes.

Vergleicht man auf diese Weise die Widerstände gleich langer und gleich dicker Drähte aus verschiedenen Metallen mit demselben Neusilber- oder Platindraht, so kann man das spezifische Leitungsvermögen derselben ermitteln. So fand Matthiessen (1857), wenn das Leitungsvermögen des Silbers = 100 gesetzt wird, folgende Zahlen:

Silber	100	Eisen	14,44	Blei	7,77
Kupfer	77,43	Palladium	12,64	Antimon	4,29
Gold	55,19	Zinn	11,45	Quecksilber	1,63
Zink	27,39	Platin	10,53	Wismut	1,19.

Bezeichnet *l* die Länge, *q* den Querschnitt, *s* das spezifische Leitungsvermögen eines Drahtes, so wird sein Widerstand durch die Formel  $\frac{l}{qs}$  ausgedrückt. — Mit wachsender Temperatur nimmt der Leitungswiderstand der Metalldrähte beträchtlich zu; es muß daher bei Vergleichung der Leitungsfähigkeit der Metalle die Temperatur berücksichtigt werden (vergl. auch § 232).

Fig. 270.



§ 320. Um die Widerstände flüssiger Leiter zu bestimmen, bringt man dieselben in einen Trog von rechteckigem Querschnitt (Fig. 270), in welchem die zur Zuleitung des Stromes dienenden Metallplatten *A* und *B*, welche den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen, einander genähert oder von einander entfernt werden können. Hat man beide Platten anfänglich in eine gemessene Entfernung gebracht und erhöht dieselbe um eine bestimmte Größe, so wird dadurch die Länge der eingeschalteten Flüssigkeitssäule um ebensoviel vermehrt, während ihr Querschnitt gleich ist dem eingetauchten Teil der Plattenoberfläche. Das Leitungsvermögen der nicht metallischen Flüssigkeiten ist im allgemeinen sehr gering im Vergleich mit dem der Metalle; so fand Becquerel, wenn das Leitungsvermögen des Silbers = 100000000 gesetzt wird, das der verdünnten Schwefelsäure (1 Vol. Schwefelsäurehydrat + 11 Vol.

Wasser) = 88,68, der gesättigten Kochsalzlösung 31,52, der gesättigten Kupfer-  
 triollösung 5,42. Verdünnte Schwefelsäure leitet am besten bei einem Gehalt  
 von etwa  $\frac{1}{3}$  Schwefelsäurehydrat und  $\frac{2}{3}$  Wasser. Das Leitungsvermögen des  
 ganz reinen, destillierten Wassers ist, verglichen mit dem der Metalle und selbst  
 der Salzlösungen, so gering, daß das Wasser fast als ein Nichtleiter für den gal-  
 vanischen Strom zu betrachten ist.

Über den Leitungswiderstand der Flammen hat Hoppe (1877) aus  
 seinen Versuchen gefolgert, daß für jede Flamme die größere Leitungsfähigkeit  
 von der größeren Hitze und der größeren Menge des verbrennenden Gases ab-  
 hängt, ferner bei verschiedenen Flammen von den verbrennenden Substanzen,  
 endlich daß auch für die Flammen das Ohmsche Gesetz Geltung hat.

§ 320a. Absolutes Maßsystem. In der Mechanik lassen sich alle  
 Größen durch drei von einander unabhängige oder absolute Einheiten messen,  
 nämlich durch die Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit. Gauß wählte 1833  
 als solche mm, mg, sek.; gegenwärtig ist fast ausschließlich das sogenannte CGS-  
 (Centimeter-, Gramm-, Sekunden-) System im Gebrauch, in wel-  
 chem cm, g, sek. als Fundamenteinheiten gelten, das Gramm als die Masse eines  
 ccm reinen Wassers von 4° C. (§ 12).

Bedient man sich irgend welcher Einheitssysteme bei wissenschaftlichen  
 Untersuchungen, so müssen dieselben genügend erklärt und in ihrem Verhältnis  
 zu den absoluten Einheiten derart festgestellt sein, daß man mit Sicherheit von  
 einem System zu dem anderen überzugehen vermag. Dieser Übergang ist am  
 leichtesten zu bewerkstelligen, wenn man für jede Größe die Dimension angiebt,  
 in welcher die drei Fundamenteinheiten Länge ( $l$ ), Masse ( $m$ ) und Zeit ( $t$ ) in ihr  
 vertreten sind.

Die Dimension einer Geschwindigkeit (§ 30) ist  $\frac{s}{t} = lt^{-1}$ ;

die einer Beschleunigung (§ 32)  $\frac{2s}{t^2} = lt^{-2}$ ;

die einer Kraft (§ 32a)  $mg = mlt^{-2}$ ;

die einer Bewegungsgröße (§ 32a)  $mv = mlt^{-1}$ ;

die einer Arbeit (§ 43)  $P.s = mlt^{-2}$ ;

die einer Winkelgeschwindigkeit (§ 65)  $\frac{v}{r} = t^{-1}$ ;

die eines Trägheitsmomentes (§ 62)  $mr^2 = ml^2$ .

Im CGS-System bewegt sich also ein Punkt mit der Einheit der Geschwin-  
 digkeit, der 1 cm in 1 Sek. zurücklegt, mit der Einheit der Beschleunigung,  
 dessen Geschwindigkeit in jeder Sek. um die Einheit zunimmt, u. s. w. Die  
 Krafteinheit, durch welche 1 g-Masse die Beschleunigungseinheit erhält, heißt  
 das Dyn; dasselbe ist von der auf je ein Gramm wirkenden Schwerkraft der  
 981te Teil.

Die Einheit des Magnetismus kommt demjenigen Punkte  $A$  zu, welcher  
 einen gleich stark magnetischen Punkt  $B$  in der Entfernungseinheit mit der Kraft-  
 einheit abstößt. Wenn  $B$  durch  $A$  in dem Abstand  $l$  mit einer Kraft  $k$  abgestoßen  
 wird, so kommt nach dem Coulombschen Gesetz (§ 296) dem Magnetismus von  $A$   
 und  $B$  die Zahl  $\mu$  zu, für welche die Beziehung stattfindet:

$$k = \frac{\mu \cdot \mu}{l^2}, \text{ woraus } \mu = l\sqrt{k};$$

demnach ist die Dimension des Magnetismus  $\mu$ :

$$l \cdot m^{1/2} l^{1/2} t^{-1} = m^{1/2} l^{3/2} t^{-1}.$$

Alle Magnete und der Erdkörper selbst bringen in allen Punkten ihrer Um-  
 gebung, deren Gesamtheit als ein magnetisches Feld bezeichnet wird, Kräfte  
 hervor, infolge deren sich ein frei beweglicher Magnet in einem solchen Felde so  
 stellt, daß die Verbindungslinie seiner Pole mit der Krafrichtung zusammenfällt.  
 Das Verhältnis der Kraft  $k$  zu dem der Kraft unterworfenen Magnetismus  $\mu$   
 heißt die Intensität  $H$  des magnetischen Feldes, demnach hat:

$$H = \frac{k}{\mu} \text{ die Dimension } m^{1/2} l^{-1/2} t^{-1}.$$

Im CGS-System ist die Intensität des Erdmagnetismus im mittleren Deutsch-  
 land etwa 0,45 und diejenige der horizontalen Komponente  $0,45 \cdot \cos 67^\circ = 0,18$   
 (in Berlin, Mitte 1885, = 0,1852).

In einem Kreise mit dem Radius  $l$  fließt die Einheit des elektrischen Stromes, wenn jeder Bogen  $l$  desselben auf die Einheit des im Mittelpunkt befindlichen Magnetismus die Krafteinheit ausübt (§ 316). Wenn nun der im Kreise mit dem Radius  $l$  fließende Strom auf den im Mittelpunkt befindlichen Magnetismus  $\mu$  die Kraft  $k$  ausübt, so wird die Stromintensität durch die Zahl  $i$  dargestellt, welche der Gleichung genügt:

$$k = \frac{2\pi l \cdot i \cdot \mu}{l^2}, \quad \text{woraus:} \quad i = \frac{kl}{2\pi\mu}$$

so daß der Stromintensität die Dimension zukommt:

$$\frac{m l^2 t^{-2}}{m^{1/2} l^{3/2} t^{-1}} = m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}.$$

Die elektromotorische Kraft wird durch folgenden Satz bestimmt: Wenn in einem magnetischen Felde ein Leiter senkrecht sowohl zur eigenen Richtung als auch zur Richtung der magnetischen Kraft sich bewegt, während er selbst immer senkrecht gegen die letztere gehalten wird, so entsteht in dem Leiter eine elektromotorische Kraft  $e$ , welche proportional ist seiner Länge  $l$ , seiner Geschwindigkeit  $v$  und der Intensität  $H$  des magnetischen Feldes. Man darf darum setzen:

$$e = l H v,$$

und die Dimension der elektromotorischen Kraft wird:

$$l \cdot m^{1/2} l^{-1/2} t^{-1} \cdot l t^{-1} = m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}.$$

Beispielsweise erhält ein geradliniger Draht von 1 m Länge, wenn er senkrecht zur Inklinationsrichtung gehalten und dann senkrecht zu derselben und zu seiner eigenen Richtung in jeder Sekunde um 1 m fortbewegt wird, die elektromotorische Kraft  $e = 100 \cdot 0,45 \cdot 100 = 4500 \text{ (cm)}^{1/2} \cdot \text{(gm)}^{1/2} \cdot \text{(sek.)}^{-2}$ .

Der Widerstand  $w$  ist durch das Ohmsche Gesetz (§ 318)  $i = \frac{e}{w}$ , oder  $w = \frac{e}{i}$  als das Verhältnis der elektromotorischen Kraft zur Stromintensität gegeben. Seine Dimension ist demnach:

$$\frac{m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}}{m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}} = l t^{-1}.$$

Weil bei der Messung von Strömen, elektromotorischen Kräften und Widerständen im CGS-System die Maßzahlen teils zu groß, teils zu klein ausfallen, so hat der internationale elektrische Kongreß zu Paris 1881 das von der British association schon früher angewandte „praktische Maßsystem“ angenommen, dessen Einheiten aus denen des absoluten Systems entstehen durch Hinzufügung passender Potenzen von 10 als Faktoren, nämlich:

1 Ampère ( $A$ ) als Einheit der Stromstärke =  $10^{-1} m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}$ ,

1 Volt ( $V$ ) als Einheit der elektromotorischen Kraft =  $10^8 m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}$ ,

1 Ohm ( $\Omega$ ) als Einheit des Widerstandes =  $10^9 l t^{-1}$ ,

verbunden durch die Ohmsche Gleichung:

$$V = \Omega \cdot A.$$

Zur bequemen Messung dienen noch folgende Bestimmungen:

1 Ohm = 1,06 *S. E.* (Siemens-Einheiten, § 319).

1 Ampère scheidet in der Sekunde 1,118 mg Silber aus (§ 340).

Bunsen = 1,8–1,9 Volt; Daniell = 1,1–1,2 Volt.

#### b. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

§ 321. Magnetisierung des Eisens durch den elektrischen Strom. Der elektrische Strom wirkt nicht nur ablenkend auf die Magnetnadel, sondern er vermag auch in seiner Nähe befindliche Teilchen von unmagnetischem Eisen zu magnetisieren. Legt man über den horizontal ausgespannten Schließungsdraht einer Kette ein Blatt steifen Papiers und streut auf dieses Eisenfeilspäne, so ordnen sich die Eisenpartikelchen in Reihen, welche quer über den Draht laufen und auf seiner Richtung senkrecht stehen (vergl. § 297). Ein quer über den Draht gelegtes Eisenstäbchen wird in einen Magnet verwandelt, dessen Pole sich nach der Ampèreschen Regel (§ 315) bestimmen lassen. Stärkere magnetische Wirkungen werden erzielt, indem man einen geraden oder huf-

eisenförmig gebogenen Stab von weichem Eisen mit einer Kupferdrahtspirale umgiebt, deren Windungen behufs der Isolierung mit Seide umspunnen sind. So lange ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, wird der Eisenstab in einen Elektromagnet verwandelt, welcher alle Eigenschaften eines Stahlmagnets besitzt. Beim Aufhören des magnetisierenden Stromes verschwindet der Magnetismus des Stabes bis auf einen mehr oder minder beträchtlichen Rest, der von der Koerzitivkraft des Eisens (§ 294) herrührt. Hufeisenförmige Elektromagnete können wie Stahlmagnete mit einem beide Pole verbindenden Anker von weichem Eisen armiert werden. Die Stärke des erregten Magnetismus ist (innerhalb gewisser Grenzen) der Intensität des magnetisierenden Stromes und der Anzahl der Drahtwindungen proportional. Der Grad des Magnetismus, welchen ein Elektromagnet aus weichem Eisen anzunehmen fähig ist, übertrifft bei weitem den der kräftigsten Stahlmagnete. Ein Stahlstab wird kräftig und dauernd magnetisiert, indem man denselben mehrmals in gleichem Sinne durch eine vom elektrischen Strom durchflossene Kupferdrahtspirale hindurchzieht.

Die besten Logemannschen hufeisenförmigen Stahlmagnete vermochten bei 500 g Gewicht 12–13 kg zu tragen, größere Magnete von 30–50 kg trugen etwa das fünffache ihres eigenen Gewichts. Henry und Ten Eick konstruieren einen Elektromagnet, welcher bei 27 kg Gewicht 935 kg, also das 34fache seines Gewichts zu tragen vermochte. Ein kleiner, hufeisenförmiger Elektromagnet von 25 mm Länge und 15 mm Breite trug das 420fache seines Gewichts.

Die magnetische Erregung eines hufeisenförmigen Elektromagnets ist verhältnismäßig sehr viel stärker, wenn beide Pole durch einen Anker verbunden sind, als wenn die Tragkraft jedes Poles einzeln geprüft wird. Unterbricht man den magnetisierenden Strom, während die Pole des Hufeisens durch den Anker verbunden sind, so bleibt letzterer an den Polen haften, indem auch nach dem Aufhören des Stromes in dem geschlossenen Elektromagnet ein beträchtlicher Grad von Magnetismus zurückbleibt, welchen man den remanenten Magnetismus nennt. Reißt man jetzt den Anker los, so verschwindet dieser remanente Magnetismus bis auf eine geringe Spur von permanentem Magnetismus, welcher von der auch im weichen Eisen vorhandenen, geringen Koerzitivkraft herrührt.

Auch der Entladungsstrom der Leydener Batterie vermag die Magnetnadel abzulenken und Stahladeln zu magnetisieren, doch sind hier die Gesetze der Magnetisierung, namentlich auch was die Bestimmung der Pole betrifft, weniger einfach, weil der Entladungsstrom der Batterie aus einer Reihenfolge abwechselnd entgegengesetzter Ströme zusammengesetzt ist (§ 280).

§ 322. Magnetismus und Diamagnetismus der Körper. Mittelst der durch den elektrischen Strom erzeugten, kräftigen Elektromagnete ist es Faraday gelungen nachzuweisen, daß der Magnetismus eine viel allgemeinere verbreitete Eigenschaft der Materie ist, als man früher angenommen hatte (vergl. § 294). Faraday machte (1845) die merkwürdige Entdeckung, daß außer Eisen, Nickel und Kobalt und den Verbindungen dieser Metalle auch die meisten anderen metallischen und nichtmetallischen Substanzen, unter Einwirkung hinreichend kräftiger Elektromagnete, magnetische Eigenschaften zeigen, und daß dieselben in zwei Gruppen zerfallen, indem die einen von den Magnetpolen angezogen, die anderen abgestoßen werden. Faraday nannte die letzteren diamagnetische Substanzen. Man prüft das magnetische oder diamagnetische Verhalten der Körper am besten, indem man dieselben in Form kleiner Stäbchen an einem Seidenfaden zwischen den einander genäherten Magnetpolen aufhängt. Bei Erregung des Magnetismus nehmen die Stäbchen entweder die axiale Stellung, d. h. die Richtung der Verbindungslinie beider Pole, oder die äquatoriale Stellung, nämlich senkrecht zu jener Verbindungs-

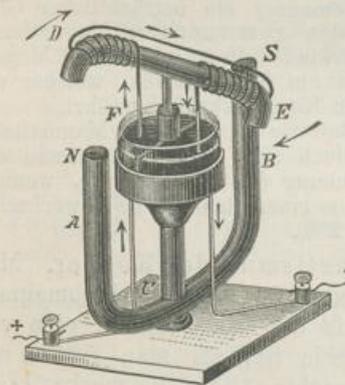
linie an, je nachdem ihre Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist. Unter den Metallen sind, aufser den oben genannten, magnetisch: Mangan, Palladium, Platin u. s. w., dagegen diamagnetisch vorzüglich: Wismut, nächst dem Antimon, Zink, Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Gold u. s. w.

Flüssigkeiten bringt man in kleinen Mengen in flache, uhrglasförmige Schälchen, welche auf die einander zugewendeten Spitzen der Magnetpole gesetzt werden. Wasser, Alkohol, Schwefelsäure u. s. w. sind diamagnetisch. Auch die gasförmigen Körper erleiden magnetische Einwirkungen. Sauerstoffgas ist magnetisch, die meisten anderen Gase mehr oder minder diamagnetisch. Merkwürdig ist das magnetische Verhalten der Krystalle, indem die Richtung, welche ein zwischen den Magnetpolen aufgehängter Krystall annimmt, nicht nur von dem Magnetismus oder Diamagnetismus der Substanz, sondern auch von der molekularen Struktur, namentlich von der Richtung der Blätterdurchgänge des Krystalls (§ 22), abhängt.

Tyndall hat nachgewiesen, daß die diamagnetischen Körper, ähnlich wie die magnetischen, zwischen den Magnetpolen eine Polarität annehmen, welche aber der des Eisens entgegengesetzt ist, so daß der Nordpol im Wismut einen Nordpol, der Südpol aber einen Südpol hervorruft.

§ 323. Anwendung des Elektromagnetismus als bewegender Kraft. Ritchies rotierender Magnet; Stromunterbrecher. Man hat zahlreiche Vorrichtungen hergestellt, welche dazu dienen, die Anziehungskraft der Elektromagnete zur Erzeugung andauernder Bewegungen zu benutzen. Als Beispiel dient der rotierende Magnet von Ritchie (1836). Vor den Polen eines hufeisenförmigen Stahlmagnets *ACB* (Fig. 271) ist ein Anker von weichem Eisen *DE* um eine vertikale Axe drehbar. Der Anker ist mit einer Spirale von mit Seide besponnenem Kupferdraht umgeben.

Fig. 271.



Die Enden des Drahtes tauchen in ein ringförmiges Nöpfchen *F* aus Holz, welches durch Scheidewände in zwei Halbringe geteilt ist. Das Nöpfchen ist so weit mit Quecksilber gefüllt, daß die konvexe Oberfläche des Quecksilbers etwas über die Scheidewand emporragt, und die in das Quecksilber tauchenden Drahtenden bei der Umdrehung des Ankers ungehindert über die Scheidewand weggehen können. Die beiden halbkreisförmigen Abteilungen des Nöpfchens werden mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt. Der durch die Drahtspirale des Ankers *DE* geschlossene Strom verwandelt diesen in einen Elektromagnet, dessen Pole von den ungleichnamigen Polen des Stahlmagnets *ACB* angezogen werden. Die Scheidewand des Nöpfchens ist aber so gestellt, daß in dem Augenblick, wo die Pole des Ankers denen des Stahlmagnets gegenüberstehen, die Enden der Drahtspirale über die Scheidewände hinweggleiten, so daß das Ende, welches vorher in die positive Abteilung des Nöpfchens tauchte, in die negative übergeht und umgekehrt. Dadurch wird die Richtung des Stromes in der Drahtspirale und infolgedessen die Polarität des Elektromagnets umgekehrt, die vorher angezogenen Pole werden jetzt abgestoßen, und der Anker dreht sich um  $180^\circ$ , worauf von neuem eine Umkehrung der Stromesrichtung und ein Wechsel der Polarität eintritt u. s. f. Auf

diese V  
welche  
wenn d  
werk u  
Erzeug  
Der St  
magnet

E  
(§ 333  
thätige  
auch u  
schen  
bekann  
(Fig. 2  
Eisen  
elastis  
Stahlla  
trägt b  
mit de  
Strom  
spirale  
der Ke  
mus i  
leitend  
broche  
Elasti  
sobald  
die W  
gezoge  
gungen  
selbst  
durch  
angebr

A  
Schwir  
halten  
des Uh  
zu unt  
Drahtl  
übertra  
Strome  
genau  
in glei  
leitung  
lierend  
Di  
Triebk  
sind r  
einerse  
Entfer  
aus sp  
selbst  
chung  
ein de

diese Weise wird eine kontinuierliche Rotation des Ankers hervorgebracht, welche so lange andauert, als die Kette in Wirkung bleibt und welche, wenn der magnetisierende Strom kräftig genug ist, auf ein leichtes Räderwerk übertragen, oder selbst zum Emporwinden eines Gewichts oder zur Erzeugung anderer mechanischen Arbeitsleistungen verwendet werden kann. Der Stahlmagnet *ACB* kann mit Vorteil ebenfalls durch einen Elektromagnet ersetzt werden.

Eine andere Anwendung des Elektromagnetismus, von welcher später (§ 333) ein wichtiger Gebrauch gemacht werden wird, bildet der selbstthätige Stromunterbrecher, welcher

auch unter dem Namen des Wagner'schen oder Neef'schen Hammers (1839) bekannt ist. Dem Elektromagnet *A* (Fig. 272) steht der Anker *B* aus weichem Eisen gegenüber, welcher am Ende der elastisch federnden, bei *C* befestigten Stahllamelle *BC* angebracht ist. Diese trägt bei *D* ein Platinblättchen, welches

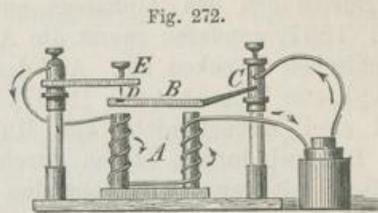


Fig. 272.

mit der Platinspitze der Schraube *E* in leitender Berührung steht. Der Strom geht vom positiven Pol der Kette über *CBDE* durch die Drahtspiralen des Elektromagnets *A* und kehrt von da nach dem negativen Pol der Kette zurück. Sobald die Kette geschlossen wird, wird der Magnetismus in *A* erregt und der Anker *B* angezogen. Dadurch wird aber die leitende Berührung zwischen *D* und *E* aufgehoben und der Strom unterbrochen. Der Elektromagnet *A* wird infolgedessen unwirksam, durch die Elasticität der Stahllamelle *BC* wird der Anker wieder emporgehoben, sobald aber dadurch die Berührung bei *D* wiederhergestellt wird, beginnt die Wirksamkeit des Stromes von neuem, der Anker wird wieder angezogen u. s. f. Dadurch wird die Lamelle *BC* in fortdauernde Schwingungen versetzt, und man erhält einen diskontinuierlichen, fortwährend sich selbst unterbrechenden Strom. Die Häufigkeit der Unterbrechungen kann durch Verstellung der Schraube *E*, sowie durch Abänderung der bei *B* angebrachten Masse des Ankers reguliert werden.

Auf ähnliche Weise ist es möglich, mittelst des elektrischen Stromes die Schwingungen einer Stimmgabel während unbegrenzter Zeit ungeschwächt zu erhalten oder, wie es bei den elektrischen Uhren geschieht, die Schwingungen des Uhrpendels, anstatt durch Federn oder Gewichte, durch den elektrischen Strom zu unterhalten. Die Bewegungen eines Uhrwerks können ferner durch isolierte Drahtleitungen an beliebig viele, an verschiedenen Orten aufgestellte Uhrwerke übertragen werden. Da bei jeder Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes die Elektromagnete sämtlicher durch die Drahtleitung verbundenen Uhren genau gleichzeitig ihre Anker anziehen, und deren Bewegung auf das Räderwerk in gleicher Weise übertragen wird, so ist der Gang sämtlicher durch die Drahtleitung verbundenen Uhren genau übereinstimmend mit der ihre Bewegung regulierenden Normaluhr.

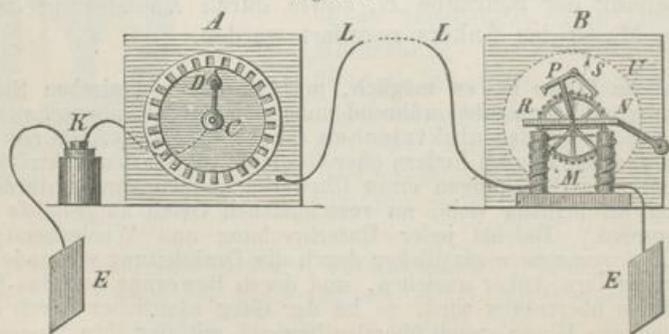
Die früher gehegten Erwartungen, daß man den Elektromagnetismus als Triebkraft im großen zum Ersatz der Dampfmaschinen verwenden könnte, sind nicht in Erfüllung gegangen. Die zu überwindende Schwierigkeit liegt einerseits darin, daß die Anziehungskraft der Elektromagnete mit wachsender Entfernung des Ankers sehr schnell abnimmt, andererseits in dem Umstand, daß aus später (§ 331) zu erläuternden Gründen durch die Bewegung der Maschine selbst eine beträchtliche und mit der Bewegungsgeschwindigkeit wachsende Schwächung des erregenden Stromes stattfindet, endlich aber darin, daß in der Kette ein der erzielten Arbeitsleistung proportionaler Verbrauch von Zink und von

den Erregungsflüssigkeiten der Kette (§ 344) stattfindet, welcher im Verhältnis zur gewonnenen Arbeit weit kostspieliger ist, als das Feuerungsmaterial der Dampfmaschinen. (Vergl. § 332.)

§ 324. Telegraphie. Schon vor Entdeckung der galvanischen Ströme sind im vorigen Jahrhundert Vorschläge gemacht worden, die Fortpflanzung der Elektrizität in Metalldrähten zur Mitteilung von Signalen auf größere Entfernungen anzuwenden. Nach Entdeckung der galvanischen Elektrizität schlug Sömmering (1808) vor, die Zersetzung des Wassers durch den galvanischen Strom zu telegraphischen Zeichen zu benutzen, indem er beide Stationen durch 24 Paar isolierte Drähte verbinden wollte, den 24 Buchstaben des Alphabets entsprechend. Gauß (1833) und Steinheil (1837) wendeten zuerst die Ablenkung der Magnetnadel zu telegraphischen Zwecken an. Auf demselben Prinzip beruht der Nadeltelegraph von Wheatstone (1837). An der zeicheneempfangenden Station *B* sind zwei Magnetnadeln, von Multiplikatorgewinden umgeben, aufgestellt. Die Drahtwindungen stehen durch einen isolierten Leitungsdraht in Verbindung mit der zeichengebenden Station *A*. Sobald der Strom der in *A* aufgestellten Kette mittelst einer Kommutatorvorrichtung (§ 315) in entgegengesetztem Sinne durch die Drahtleitung gesendet wird, erleiden die Magnetnadeln in *B* Ablenkungen nach der entgegengesetzten Seite. Durch Kombination mehrerer auf einander folgenden Zeichen lassen sich verschiedene, den einzelnen Buchstaben des Alphabets entsprechende Signale zusammensetzen.

§ 325. Zeigertelegraph. Der ebenfalls von Wheatstone angegebene und namentlich durch Siemens (1848) vervollkommnete Zeigertelegraph beruht auf folgendem Prinzip. An der zeichengebenden Station *A* (Fig. 273) sei eine Scheibe aufgestellt, welche an ihrem Umfang 24 Metallblättchen trägt, die mit den 24 Buchstaben des Alphabets bezeichnet und durch abwechselnde Stücke aus isolierender Kautschukmasse von einander getrennt sind. Um den Mittelpunkt *C* der Kreisscheibe ist die metallische Kurbel *CD* mittelst des bei *D* angebrachten Handgriffes

Fig. 273.



drehbar. Stehen nun die 24 am Umfang angebrachten Metallblättchen sämtlich mit dem positiven, die Umdrehungsaxe *C* aber mit dem negativen Pol der Kette *K* in Verbindung, so wird der Strom so oft geschlossen und wieder unterbrochen werden, als bei Drehung der Kurbel das Ende *D* über ein Metallblättchen weggleitet. Der Strom wird nun durch die Drahtleitung *LL* nach der zeicheneempfangenden Station *B* geleitet, wo er die Drahtspiralen des Elektromagnets *M* durchläuft, vor dem der Anker

*N* auf  
Entfer  
wird.  
mal an  
Enden  
Anker  
angezo  
auf de  
Umdre  
ist in  
Alphab  
broche  
zeiche  
gebend  
demsel  
Kurbel  
seinen  
die en  
werden

*S*  
breitet  
An der  
aufgest  
befesti  
Ende  
drück  
zwischen  
den Sc  
wenn

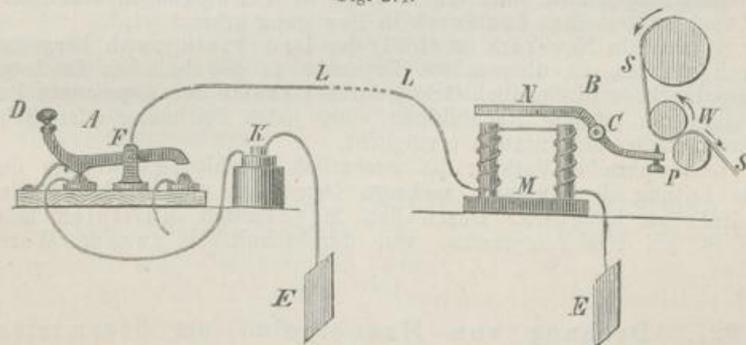
vorgeb  
des Str  
stift v  
Augen  
bei län  
Strome  
läßt si  
stabe

Joch

*N* aufgestellt ist. Eine elastische Feder hält den Anker in einer gewissen Entfernung vom Elektromagnet, solange dessen Magnetismus nicht erregt wird. Bei jeder Schließung und Öffnung des Stromes wird der Anker einmal angezogen und wieder losgelassen. Mittelst eines Hebels *P*, dessen Enden in die Zähne eines Rades *R* eingreifen, wird die Bewegung des Ankers auf das Zahnrad so übertragen, daß dasselbe, so oft der Anker angezogen wird, um einen Zahn vorrückt. Das Rad trägt 24 Zähne, und auf der Axe desselben ist ein Zeiger befestigt, dessen Ende *S* bei jeder Umdrehung den Umfang der Zeichenscheibe *U* durchläuft. Dieser Umfang ist in 24 gleiche Abschnitte geteilt, die mit den 24 Buchstaben des Alphabets bezeichnet sind. So oft der elektrische Strom einmal unterbrochen und wiederhergestellt wird, rückt der Zeiger um ein Buchstabenzeichen weiter, so daß seine Bewegung der des Hebels *CD* an der zeichengebenden Station *A* genau entspricht. Stehen anfänglich beide Zeiger auf demselben Buchstaben, z. B. *A*, so werden dieselben auch bei Drehung der Kurbel stets genau übereinstimmen, so daß, wenn der Telegraphist bei *A* seinen Zeiger, z. B. nach einander auf die Buchstaben *TEL* u. s. w. stellt, die entsprechenden Buchstaben auf der Zeichenscheibe bei *B* abgelesen werden können.

§ 326. Schreibtelegraph. Das gegenwärtig am allgemeinsten verbreitete System ist das des Morseschen Schreibtelegraphen (1844). An der zeichenempfangenden Station *B* (Fig. 274) ist der Elektromagnet *M* aufgestellt, dessen Anker *N* an dem um die Axe *C* drehbaren Hebel *NP* befestigt ist. So oft der Anker angezogen wird, wird der am anderen Ende des Hebels befestigte Schreibstift *P* gegen den Papierstreif *SS* gedrückt, welcher durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen zwei sich drehenden Walzen *W* hindurchgezogen wird. Durch den Schreibstift *P* wird auf dem Papierstreif ein vertiefter Eindruck, oder, wenn der Stift mit einem Farbstoff versehen ist, ein farbiger Strich hervorgebracht,

Fig. 274.



vorgebracht, solange der Elektromagnet in Thätigkeit bleibt. Bei Öffnung des Stromes wird durch eine Feder der Anker gehoben und der Schreibstift vom Papierstreif entfernt. Bleibt der Strom nur während eines Augenblicks geschlossen, so entsteht auf dem Papierstreif nur ein Punkt, bei längerer Schließung ein Strich, dessen Länge von der Dauer des Stromes abhängt. Aus einer Kombination solcher Punkte und Striche läßt sich nun leicht ein Alphabet zusammensetzen, indem z. B. der Buchstabe *a* durch das Zeichen  $\cdot -$ , *b* durch  $- \cdot \cdot$ , *c* durch  $- \cdot - \cdot$  u. s. w.

bezeichnet wird, wobei für die am häufigsten vorkommenden Buchstaben die einfachsten Zeichen gewählt werden. Die Schließung und Öffnung des Stromes geschieht mittelst des an der zeichengebenden Station *A* befindlichen Schlüssels. Wird der um *F* drehbare Metallhebel *DF* mittelst des Knopfes *D* niedergedrückt, so wird dadurch der Strom der Kette *K* geschlossen. Beim Aufhören des Druckes wird der Hebel durch eine elastische Feder gehoben und dadurch der metallische Kontakt bei *D* aufgehoben und der Strom unterbrochen. (Durch den in der Figur 274 als abgebrochen dargestellten Leitungsdraht läßt sich alsdann der Schlüssel mit einem Schreibapparat der Station *A* in Verbindung bringen und diese Station dadurch zur zeichenempfangenden machen.) Der Telegraphist bei *A* kann also durch momentanes oder während kurzer Zeit andauerndes Niederdrücken des Knopfes *D* nach Belieben auf dem Papier der Station *B* Punkte oder Striche erzeugen, durch deren Kombination die zu telegraphierenden Buchstaben zusammengesetzt werden. Nach jedem Buchstaben wird eine kurze, nach jedem Wort eine etwas längere Pause gemacht.

Die Drahtleitung zwischen den beiden telegraphisch verbundenen Stationen muß wohl isoliert sein. Die durch die Luft ausgespannten Drähte werden zu diesem Zweck an den Telegraphenstangen durch isolierende, glockenförmige Träger aus Glas oder Porzellan befestigt. Unterirdische oder unterseeische Leitungen werden mittelst einer Umhüllung von Guttapercha isoliert. Zur Leitung wird entweder Kupferdraht, oder bei längeren Luftleitungen in der Regel, der größeren Billigkeit wegen, verzinkter Eisendraht verwendet. Zur Hin- und Rückleitung des Stromes würden für jedes Signal zwei Leitungsdrähte erforderlich sein, und in der That wendete man anfänglich solche Doppelleitungen an, bis Steinheil (1838) zeigte, daß eine einfache Drahtleitung hinreichend sei, indem man zur Rückleitung des Stromes den Erdkörper benutzen könne. Es ist zu diesem Zweck nur erforderlich, die Enden des Leitungsdrahtes mit den in das feuchte Erdreich vergrabenen, oder in das Wasser eines Brunnenschachtes versenkten Metallplatten *EE* zu verbinden.

Beim Beginn einer Depesche muß die Aufmerksamkeit des zeichenempfangenden Beamten durch ein Glockensignal erregt werden. Dieses wird erzeugt, indem man entweder den Ankerhebel eines Elektromagnets unmittelbar gegen eine kleine Metallglocke schlagen läßt, oder indem durch die Schwingungen desselben ein zu diesem Zweck aufgestelltes Läutewerk in Bewegung gesetzt wird.

Von Hughes in New-York ist (1861) der Drucktelegraph hergestellt worden, durch welchen die übersendete Depesche in gewöhnlichen Buchstaben auf Papier abgedruckt wird, endlich (1865) durch Caselli der sogenannte Pantelegraph, der eine getreue Nachbildung einer jeden Zeichnung oder Schrift auf der zeichenempfangenden Station ermöglicht.

Der telegraphische Verkehr ist wesentlich beschleunigt worden durch die glückliche Lösung der Aufgabe, mehrere Depeschen gleichzeitig auf demselben Leitungsdraht zu befördern. Durch den Meyerschen Multiplex lassen sich stündlich 80 bis 100 Telegramme von durchschnittlich zwanzig Worten verarbeiten.

§ 327. Drehung von Magnetpolen um Stromleiter und von Stromleitern um Magnetpole. Oben (§ 315) ist gezeigt worden, daß die Kraft, welche ein von einem Strom durchflossener Draht auf einen Magnetpol ausübt, von allen früher betrachteten Kräften sich durch den merkwürdigen Umstand unterscheidet, daß ihre Richtung senkrecht auf der durch Stromleiter und Magnetpol gelegten Ebene steht, und daß dieselbe, wenn man einen Magnetpol isolieren könnte, eine dauernde Drehung des Magnetpols um den Stromleiter hervorbringen würde. Da jeder Wirkung in der Natur eine gleiche Gegenwirkung entspricht, so übt seinerseits ein feststehender Magnetpol auf einen in seiner

Nähe  
leiter

vollfü

B

raday

1.

mit ih

Magnet

verbun

Spitze

Leitung

Magnet

hölzern

umgeb

ausgeh

silberri

draht

bindung

*CDA*

steigend

versetzt

versetzt

lung, d

sehen

Drehun

weder

der Ma

gesetzte

2.

Ende d

schwebt

Kupfer

spitzer

Quecks

negative

positive

silbernä

sich vor

Drahtb

Wirkun

die sch

dreht d

Beim V

Umkehr

richtung

§

Ström

trischer

geführt

auf ein

als rich

mittelte

parall

gerich

gerich

benach

sind d

ihren

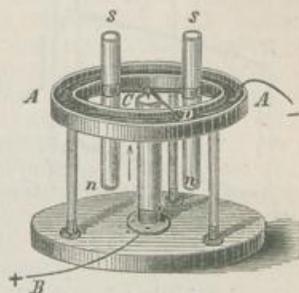
tungen

Nähe befindlichen Stromleiter eine Wirkung aus, vermöge deren der Stromleiter, wenn er beweglich ist, eine dauernde Drehung um den Magnetpol vollführt.

Beide Arten von elektromagnetischen Umdrehungsbewegungen sind von Faraday auf folgende Weise verwirklicht worden:

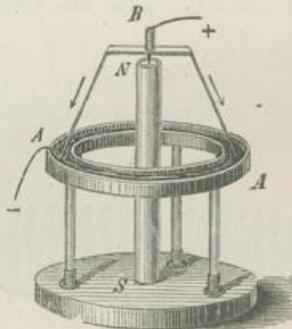
1. Drehung des Magnetpols um den Stromleiter. Zwei parallele, mit ihren gleichnamigen Polen, z. B. den Nordpolen, nach abwärts gerichtete Magnetstäbchen (*ns, ns* Fig. 275) sind durch einen Querdraht in Form eines H verbunden und mittelst einer Stahlspitze bei *C* frei drehbar aufgehängt. Die Spitze taucht in ein Quecksilbernapfchen, welches das obere Ende des vertikalen Leitungsdrahtes *BC* bildet. Das System der Magnetstäbe ist ferner von einer ringförmigen, hölzernen, mit Quecksilber gefüllten Rinne *AA* umgeben, in welche die Platinspitze eines von *C* ausgehenden Querdrahtes *CD* taucht. Die Quecksilberrinne steht mit dem negativen Pol der Kette in Verbindung, so daß der positive Strom von *B* über *CDA* zur Kette zurückkehrt. Der in *BC* aufsteigende Strom wirkt auf die Magnetpole *nn* und versetzt das System der Magnetstäbe in eine Drehung, deren Richtung, wie sich aus der Ampère'schen Regel (§ 315) ergibt, umgekehrt wie die Drehung eines Uhrzeigers stattfindet. Wenn entweder die Richtung des Stromes, oder die Polarität der Magnetstäbe umgekehrt wird, geht die Drehungsrichtung in die entgegengesetzte über.

Fig. 275.



2. Drehung des Stromleiters um den Magnetpol. Auf dem oberen Ende des feststehenden Magnetstabes *NS* (Fig. 276) schwebt, mittelst einer Spitze frei drehbar, der Kupferdrahtbügel *ABA*, dessen Enden mit Platinspitzen versehen sind, die in die ringförmige Quecksilberrinne *AA* tauchen. Diese ist mit dem negativen Pol der Kette verbunden, während der positive Poldraht in ein bei *B* angebrachtes Quecksilbernapfchen taucht. Der positive Strom teilt sich von *B* aus und strömt in beiden Armen des Drahtbügels abwärts in der Richtung *BA*. Die Wirkung des näheren Magnetpols *N* überwiegt die schwächere des entfernteren Poles *S* und dreht den Drahtbügel im Sinne eines Uhrzeigers. Beim Wechsel der Stromesrichtung, oder bei Umkehrung der Magnetpole wird die Drehungsrichtung die entgegengesetzte.

Fig. 276.



§ 328. Anziehung und Abstofsung zweier elektrischen Ströme. Durch die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und Magnetpolen wurde Ampère zu der Vermutung geführt, daß auch zwei bewegliche Stromleiter eine mechanische Wirkung auf einander ausüben möchten. In der That erwies sich diese Vermutung als richtig, und die von Ampère (1823) in betreff dieser Wirkung ermittelten Gesetze lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: Zwei parallele Stromleiter ziehen einander an, wenn sie von gleichgerichteten, stoßen einander ab, wenn sie von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden. — Kreuzen sich zwei benachbarte Stromleiter unter einem beliebigen Winkel, so sind die anziehenden und abstofsenden Wirkungen zwischen ihren einzelnen Teilen so beschaffen, daß sie die Stromrichtungen parallel und gleich zu stellen streben.

Der in Form eines Rechtecks gebogene Leitungsdraht  $ABCD$  (Fig. 277) sei an einem Seidenfaden frei drehbar aufgehängt. Die beiden Drahtenden sind von einander isoliert. Das eine Ende taucht bei  $E$  in ein mittleres Quecksilbernapfchen, das mit dem positiven Pol der Kette in Verbindung steht, das andere Ende taucht in ein ringförmiges Napfchen, von welchem das mittlere Napfchen umschlossen ist, und das mit dem negativen Pol verbunden ist. Infolge dieser Einrichtung kann sich das Drahtrechteck ringsum frei drehen, ohne daß die leitende Verbindung mit den Polen der Kette unterbrochen wird. Nähert man der Rechtecksseite  $CD$  einen zweiten parallelen Leitungsdraht  $FG$ , so beobachtet man eine Anziehung oder Abstossung, je nachdem die Stromrichtung in beiden die gleiche oder entgegengesetzte ist. Nähert man dem Rechteck einen anderen, ebenfalls rechteckig gebogenen Draht, so streben sich die Ebenen beider Rechtecke parallel, mit übereinstimmenden Stromrichtungen zu stellen. Auch die Wirkungen von Magnetpolen auf Stromleiter lassen sich an dem beweglich aufgehängten Leitungsdraht leicht nachweisen. Wie der elektrische Strom eine bewegliche Magnetnadel zu seiner Ebene senkrecht zu stellen strebt, so stellt sich umgekehrt die Ebene des beweglichen Stromleiters senkrecht zur Axe eines hindurchgesteckten Magnetstabes, so daß der Strom den Magnetstab in

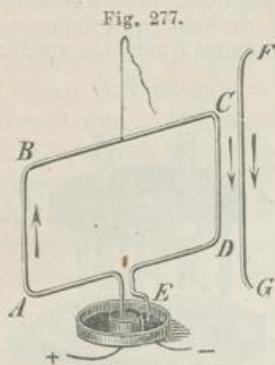


Fig. 277.

der durch die Ampèresche Regel bestimmten Richtung umkreist. Auch der Erdmagnetismus wirkt richtend auf den Stromleiter, indem er dessen Ebene, wenn derselbe hinreichend frei beweglich aufgehängt ist, senkrecht zur Richtung der Deklinationsnadel stellt.

§ 329. Solenoïdströme. Ampères Theorie des Magnetismus (1826). Die im vorhergehenden Paragraphen erläuterten Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magnetpolen treten in verstärktem Mafse hervor, wenn man anstelle einer Drahtwindung ein System von Drahtwindungen anwendet, deren Ebenen unter einander parallel sind. Einen spiralförmig gewundenen Leitungsdraht  $AB$  (Fig. 278), dessen Windungen sämtlich in gleichem Sinne vom Strome durchlaufen werden, nannte Ampère ein Solenoïd ( $\sigma\omega\lambda\eta\nu$ , Röhre). Wird ein solches Solenoïd in ähnlicher Weise, wie das Drahtrechteck (§ 328), frei drehbar aufgehängt, so stellt sich dasselbe unter Einfluß des Erdmagnetismus so,

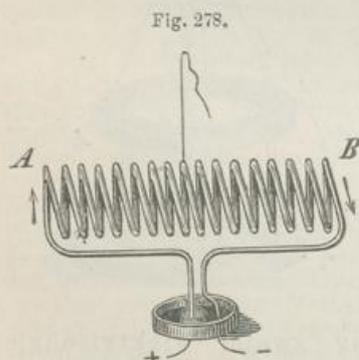


Fig. 278.

daß die Ebenen sämtlicher Kreiswindungen zur Richtung der Deklinationsnadel senkrecht liegen, die Axe des Solenoïds also der Deklinationsnadel parallel ist. Überhaupt verhält sich das vom Strom durchflossene Solenoïd in jeder Beziehung ähnlich wie die Magnetnadel, indem, der Ampèreschen Regel gemäß, dasjenige Ende dem Nordpol entspricht, welches, wenn man es sich nach oben gekehrt denkt, vom Strom im umgekehrten Sinne eines Uhrzeigers, dasjenige dem Südpol, welches in der



Fig. 279.

Richtung des Uhrzeigers umkreist wird. Werden zwei Solenoïde  $AB, CD$  (Fig. 279) mit ihren Polen einander genähert, so findet Anziehung oder

Abstoßung entgegengesetzter Magnetpole. Solenoïd von d

Au der ma das Vo zurück Molekul trischer einand allen R die Mo § 328 einen s Ebenen strebt parallel keit dre dauert citivkra eine mi Kraft e aber au beibeha

§ oder V Schließ gungen werden a) Kette gegenü Galvan zurück tung v ein Ind Strom entste ist der Indukti strom renden Stro gerich erkannt dauert, Dagegen renden l Stärke

Abstofsung statt, je nachdem die Stromrichtungen in beiden gleich oder entgegengesetzt sind. Daher findet, wie aus der Figur ersichtlich, wie bei Magnetnadeln, zwischen ungleichnamigen Polen Anziehung, zwischen gleichnamigen aber Abstofsung statt. Ebenso wird ein Solenoidpol von dem gleichnamigen Pol einer Magnetnadel abgestofsen, von dem ungleichnamigen aber angezogen.

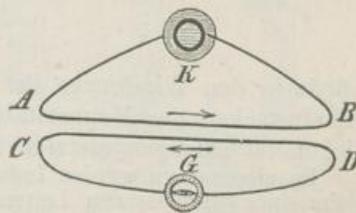
Auf dieses Verhalten der Solenoidströme gründete Ampère eine neue Theorie der magnetischen Erscheinungen, durch welche die magnetischen Wirkungen auf das Vorhandensein elektrischer Strömungen im Innern der magnetischen Körper zurückgeführt werden. Ampère geht nämlich von der Vorstellung aus, daß die Moleküle des Eisens auch im unmagnetischen Zustande von kreisförmigen, elektrischen Molekularströmen umflossen werden, deren Wirkungen nach außen hin einander aber vollständig aufheben, weil die Ebenen der Kreisströme regellos nach allen Richtungen gekehrt sind. Der Vorgang der Magnetisierung besteht darin, daß die Molekularströme sämtlich übereinstimmend gerichtet werden. Dies kann nach § 328 entweder durch einen galvanischen Strom, am zweckmäßigsten durch einen spiralförmig den Eisenstab umkreisenden Solenoidstrom geschehen, der die Ebenen sämtlicher Molekularströme seinen eigenen Windungen parallel zu stellen strebt — oder durch Annäherung eines Magnets, dessen Molekularströme bereits parallel gerichtet sind. Im weichen Eisen sind die Moleküle mit großer Leichtigkeit drehbar; deshalb wird dasselbe leicht magnetisch, die Ordnung der Moleküle dauert aber nur so lange, als die magnetisierende Ursache wirksam ist. Die Koercitivkraft des Stahles dagegen erklärt sich daraus, daß die Moleküle desselben eine minder freie Beweglichkeit besitzen, so daß eine stärker magnetisierende Kraft erforderlich ist, um die Molekularströme parallel zu richten, daß dieselben aber auch nach Aufhören der magnetisierenden Ursache ihre parallele Richtung beibehalten.

## B. Induktionsströme.

§ 330. Elektrische Induktionsströme. Durch das Entstehen oder Verschwinden eines elektrischen Stromes werden in einem dem Schließungsbogen der Kette benachbarten Stromleiter elektrische Bewegungen erzeugt, welche mit dem Namen Induktionsströme bezeichnet werden.

a) Wenn dem Schließungsdraht  $AB$  (Fig. 280) einer galvanischen Kette  $K$  ein zweiter Draht  $CD$  parallel gegenübersteht, dessen Enden durch ein Galvanometer  $G$  zu einer in sich selbst zurücklaufenden, geschlossenen Leitung verbunden sind, so wird in letzterem ein Induktionsstrom erzeugt, so oft ein Strom in dem induzierenden Draht  $AB$  entsteht oder verschwindet, und zwar ist der durch Schließen der Kette erzeugte Induktionsstrom oder der Schließungsstrom seiner Richtung nach dem induzierenden Strom entgegengesetzt, der durch Verschwinden des induzierenden Stromes erzeugte Öffnungsstrom mit dem induzierenden Strom gleich gerichtet, wie aus der Richtung der Ablenkung des Galvanometers  $G$  erkannt wird. Solange der Strom in  $AB$  mit gleichförmiger Stärke fort-dauert, findet im Induktionsdraht  $CD$  keine Elektrizitätsbewegung statt. Dagegen wird durch jede Zu- oder Abnahme der Stromstärke im induzierenden Draht ein Induktionsstrom im Induktionsdraht hervorgerufen, dessen Stärke und Dauer von der Größe und Dauer der Stromschwankung im

Fig. 280.

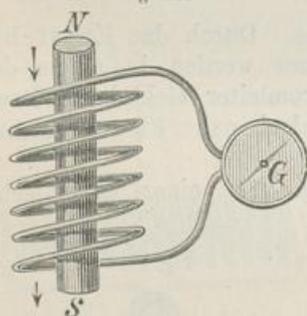


induzierenden Draht abhängt. Die durch Öffnen und Schließen der Kette erzeugten Induktionsströme sind von unmeßbar kurzer Dauer. — Da die Intensität des Induktionsstromes mit der Länge der einander gegenüberstehenden Drahtstrecken  $AB$ ,  $CD$  wächst, so giebt man denselben zweckmäßig die Form zweier parallel neben einander aufgewundenen Spiralen von mit Seide besponnenem Kupferdraht. — Auch durch den Entladungsstrom einer Leydener Batterie kann in einem benachbarten Draht ein Induktionsstrom hervorgerufen werden (s. oben § 284).

b) Wenn der von einem konstanten Strom durchflossene Draht  $AB$  dem geschlossenen Stromleiter  $CDG$  genähert, oder von demselben entfernt wird, so entsteht in letzterem ein Induktionsstrom, welcher beim Annähern dem induzierenden Strom entgegengesetzt (Annäherungsstrom), beim Entfernen aber mit demselben gleich gerichtet ist (Entfernungsstrom). Die Induktionsströme wurden von Faraday im Jahre 1831 entdeckt.

§ 331. Magnetoelektrische Induktionsströme. Beim Einschleiben eines Magnetstabes  $NS$  (Fig. 281) in eine geschlossene Drahtspirale wird in den Windungen derselben ein Induktionsstrom erregt; beim Herausziehen entsteht ein zweiter Strom von entgegengesetzter Richtung. Dasselbe findet statt, wenn ein in der Spirale steckender Stab von weichem Eisen magnetisiert wird, oder seinen Magnetismus wieder verliert. Die Erregung des Magnetismus kann durch Annäherung an die Pole eines Stahlmagnets, oder durch einen galvanischen Strom geschehen. Die Richtung der in diesen Fällen erzeugten Induktionsströme ergibt sich, indem

Fig. 281.



man sich den Magnetstab  $NS$  nach der Ampèreschen Theorie (§ 329) durch ein Solenoïd, oder durch ein System von Molekularströmen ersetzt denkt. Der beim Hineinstecken des Magnets in die Spirale, oder bei Erregung des Magnetismus erzeugte Induktionsstrom ist den Molekularströmen entgegengesetzt, der beim Herausziehen oder beim Verschwinden des Magnetismus erzeugte Induktionsstrom mit ihnen gleich gerichtet. Da z. B. um den nach oben gekehrten Nordpol des Magnetstabes die Molekularströme umgekehrt wie ein Uhrzeiger kreisen, so

würde in den Windungen der Spirale (Fig. 281) der Induktionsstrom beim Hineinstecken des Magnetstabes im Sinne eines Uhrzeigers, beim Herausziehen im entgegengesetzten Sinne fließen.

Im allgemeinen werden Induktionsströme erregt, so oft ein Magnetpol in der Nähe eines geschlossenen Leiters, oder ein Leiter in der Nähe eines Magnetpols bewegt wird. Nach einer von Lenz (1834) aufgestellten Regel ist die Richtung der durch gegenseitige Bewegungen von Leitern und Magnetpolen erzeugten Induktionsströme immer so beschaffen, daß die durch den Induktionsstrom erzeugten elektromagnetischen Anziehungs- oder Abstofsungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken. So wird z. B. durch Annäherung der parallelen Drähte  $AB$ ,  $CD$  (Fig. 280) ein entgegengesetzter Strom induziert. Da aber entgegengesetzt gerichtete Ströme einander abstofsen (§ 328), so wirkt die Abstofsung der Bewegung entgegen, ebenso bei Entfernung der Drähte die durch den gleichgerichteten Induktionsstrom erzeugte Anziehung. Wird der Magnetstab  $NS$  (Fig. 281) von obenher in die Spirale gesteckt, so wirkt der erzeugte Induktionsstrom auf die entgegengesetzten Molekularströme des Magnetstabes abstofsend u. s. w.

Wenn man umgekehrt die Drahtspirale über den Magnetstab, wie über ihre Axe, hinwegschiebt, so entsteht in der Spirale, wenn sie sich über dem ersten Pol des Magnets befindet, ein Annäherungsstrom (§ 330), welcher bei der Weiter-schiebung der Spirale schwächer wird und über den Indifferenzpunkt des Magnets hinaus als Entfernungsstrom die entgegengesetzte Richtung erhält.

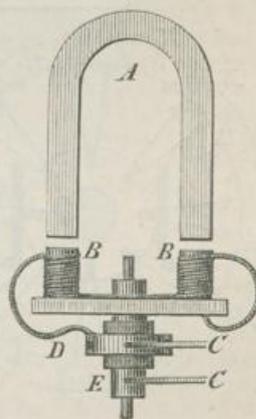
Durch die Entstehung magnetoelektrischer Induktionsströme erklärt sich die dämpfende Wirkung, welche eine Kupferscheibe auf die Schwingungen einer über derselben schwebenden Magnetnadel ausübt, und durch welche Arago (1825) zur Entdeckung des von ihm sogenannten Rotationsmagnetismus geführt wurde. Wird eine Kupferscheibe unter einer in horizontaler Ebene frei beweglichen Magnetnadel in Drehung versetzt, so erfährt die Magnetnadel eine Ablenkung im Sinne der Drehung und wird bei hinreichend schneller Drehung endlich ganz mit im Kreise herumgeführt. Umgekehrt kann eine kreisrunde, auf einer Spitze schwebende Kupferscheibe dadurch in Umdrehung versetzt werden, daß man unter derselben einen Hufeisenmagnet mit aufwärts gekehrten Polen schnell rotieren läßt. Mit anderen Metallen als Kupfer gelingt der Versuch ebenfalls, nur sind die Wirkungen um so schwächer, je geringer das Leitungsvermögen der Metalle (§ 319).

Die Bewegung eines zwischen den Polen eines Elektromagnets an einem Faden aufgehängten und in schnelle Umdrehung versetzten Kupferwürfels wird plötzlich gehemmt, sobald der Magnetismus durch Schließung des Stromes erregt wird.

§ 332. Magnetoelektrische Induktionsapparate. Die zur Erzeugung möglichst kräftiger Induktionsströme dienenden Induktionsapparate können in magnetoelektrische und elektromagnetische eingeteilt werden, je nachdem man sich der Stahlmagnete, oder der Elektromagnete zur Erzeugung der Induktionswirkungen bedient. Der magnetoelektrische Induktionsapparat (Stöhrer, 1844, Fig. 282) besteht im wesentlichen aus einem kräftigen, gewöhnlich aus mehreren Lamellen gebildeten Hufeisenmagnet *A*, vor dessen Polen ein Anker *B* von weichem Eisen mittelst einer Kurbel in schnelle Umdrehung versetzt werden kann. Der Anker besteht aus zwei durch ein Querstück verbundenen Eisencylindern, welche mit Induktionsspiralen umgeben sind. Indem die Schenkel des Ankers, bei der Umdrehung vor den Polen des Stahlmagnets, abwechselnd entgegengesetzte Polarität annehmen, werden bei jeder Umdrehung in den Drahtspiralen zwei Induktionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung erzeugt. Die Enden der Drahtspiralen stehen mit zwei auf der Umdrehungsaxe befindlichen, gegen einander isolierten Metallringen *D*, *E* in Verbindung. Von diesen aus können die Ströme mittelst zweier auf denselben schleifenden Federn *C* weiter geleitet werden.

Zur Erzeugung kräftiger, physiologischer Wirkungen (§ 334) ist es erforderlich, daß dem Induktionsstrom bis zum Augenblick seiner stärksten Entwicklung eine gute metallische Leitung dargeboten werde. Indem diese plötzlich unterbrochen wird, findet der durch die Unterbrechung erzeugte Extrastrom (s. § 333) eine Leitung durch den menschlichen Körper und bewirkt eine kräftige Erschütterung. Die Unterbrechung der metallischen Leitung im geeigneten Zeitpunkt kann dadurch bewerkstelligt werden, daß einer der Metallringe *D*, auf welchen die Metallfedern schleifen, an der passenden Stelle durch ein nichtleitendes Stück Holz oder Kautschuk unterbrochen ist. Für viele Versuche ist es wünschenswert, den Induktionsströmen, welche in den Spiralen in abwechselnd entgegengesetzter Richtung laufen, gleiche Richtung

Fig. 282.



zu geben. Dies wird am einfachsten durch die von Stöhrer angegebene Kommutatorvorrichtung erreicht, deren Beschreibung hier aus Mangel an Raum nicht gegeben werden kann.

Es ist vielfach der Versuch gemacht worden, die durch magnetoelektrische Induktionsapparate erzielten Wirkungen der Anziehung zu mechanischen Zwecken nutzbar zu machen. Dabei haben sich jedoch als Übelstände geltend gemacht, daß die in diesen Apparaten zur Anwendung kommenden Stahlmagnete, auch wenn mehrere derselben zu einem größeren magnetischen Magazin (§ 295) vereinigt werden, zur Erzeugung stärkerer Ströme, wie sie zur Leistung größerer mechanischer Arbeit erforderlich sind, nicht ausreichen, daß die Stahlmagnete bald einen Teil ihrer Wirkung einbüßen, und daß auch die Herstellung derartiger Maschinen zu kostspielig ist.

Diese Übelstände der älteren magnetoelektrischen Induktionsmaschinen sind meist bei neueren Konstruktionen solcher Maschinen durch Gramme (1871) und v. Hefner-Alteneck (1872) vermieden worden (§ 332a). Bei diesen Maschinen sind die Stahlmagnete beseitigt worden, und zwar durch das von Siemens (1866) zur Darstellung magnetoelektrischer Maschinen eingeführte, sogenannte dynamoelektrische Prinzip, welches eine früher ungeahnte Steigerung der Stromstärke dieser Maschinen gestattet. Dieses Prinzip besteht in folgendem. Der magnetische Rückstand (§ 321) eines weichen Eisenkerns dient dazu, einen elektrischen Strom in einer beweglichen Spirale zu induzieren; dieser Strom wird durch eine um den weichen Eisenkern gewundene Spirale zurückgeleitet, wodurch dessen Magnetismus verstärkt wird. Es werden dadurch stärkere Ströme induziert und fortgesetzt die Wirkung erhöht, bis der Eisenkern zur Sättigung magnetisiert ist. Alsdann wird der Strom bei großer Intensität konstant.

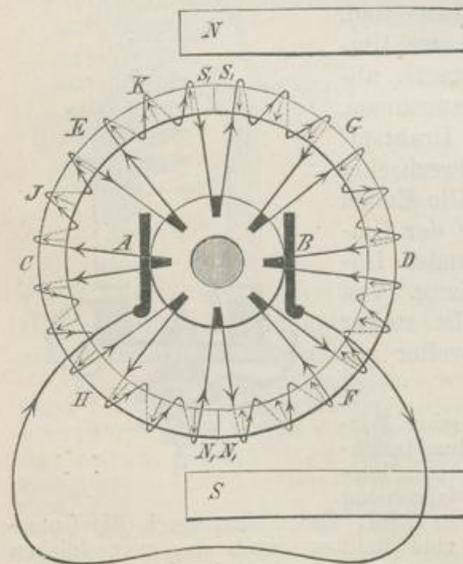
§ 332a. Der Grammesche Ring. Bei den Grammeschen Maschinen (§ 332) sind die mit Induktionsspiralen versehenen, rotierenden Eisencylinder ersetzt durch einen Eisenring, der von Kupferspiralen umgeben ist (Fig. 282a) und zwischen den Polen *N* und *S* eines Elektromagnets rotiert. Die Spiralen sind unter einander durch Vermittelung von Kupferstreifen in leitende Verbindung gebracht, welche ein concentrisches, der Nabe eines auf der

Axe befestigten Rades vergleichbares Mittelstück bilden, der Axe parallel laufen und von einander und der Axe isoliert sind. An ihm schleifen, und zwar an den von den Magnetpolen gleichweit entfernten Spiralen, die beiden Drahtbürsten *A* und *B*, von denen die Leitungsdrähte ausgehen.

Schon 1860 hatte Pacinotti einen solchen Ring beschrieben; jedoch hat Gramme 1871 den Ring zuerst erfolgreich zur Anwendung gebracht, nachdem er ihn wohl auch selbständig gefunden hatte.

Der Eisenring gleicht unter der Einwirkung der beiden Magnetpole *N* und *S* zwei Hufeisenmagneten  $N_1CS_1$  und  $S_1DN_1$ , die mit den gleichnamigen Polen zusammenstoßen, und zwar die Südpole  $S_1$  bei *N*, die Nordpole  $N_1$  bei *S*, während *C* und *D* als die Indifferenzstellen zu bezeichnen sind. Bei der Drehung um die Axe behalten diese Doppelpole ihre Lage, bezüglich zu *N* und *S*, bei und man kann sich vorstellen, als bleibe

Fig. 282 a.



$S_1DN_1$ , die mit den gleichnamigen Polen zusammenstoßen, und zwar die Südpole  $S_1$  bei *N*, die Nordpole  $N_1$  bei *S*, während *C* und *D* als die Indifferenzstellen zu bezeichnen sind. Bei der Drehung um die Axe behalten diese Doppelpole ihre Lage, bezüglich zu *N* und *S*, bei und man kann sich vorstellen, als bleibe

der E  
lichen  
ihnen  
tung  
differ  
Findet  
so tre  
gleichg  
DSC  
und e  
Richtu  
tungs  
In  
durch  
Molek  
angede  
Fortsc  
H und  
zwise  
beiden  
tionsw  
J liege  
weil d  
Hälfte  
verdo  
auf de  
und N  
herrüh  
im ga  
in HN  
Da  
Strom,  
in K i  
sich im  
tung,  
tungs  
W  
magnet  
mung  
massiv  
Wechs  
ist dies  
vorgeb  
gewand  
umgeb  
Kupfer  
der Tro  
dienen.  
tigen E  
durch  
gegenge  
der Dr  
Zu  
mit ein  
den int  
versetz  
Nutzeff  
Drehun  
polen e  
ist der  
trische  
diese b  
wird de  
ist als

der Eisenring unbeweglich und trete ein allmähliches Hinwegschieben der sämtlichen Spiralen in derselben Richtung über ihn ein. Es erreicht darum der in ihnen induzierte Strom (§ 331) zweimal ein Maximum von entgegengesetzter Richtung, nämlich in der Nähe von  $N$  und  $S$ , und zweimal ein Minimum an den Indifferenzstellen  $C$  und  $D$ , wo zugleich ein Wechsel in der Stromrichtung eintritt. Findet die Drehung in der Richtung  $CNDS$  im Sinne der Zeiger einer Uhr, statt, so treten in der oberen Hälfte  $CND$  links die Entfernungsströme, rechts die ihnen gleichgerichteten Annäherungsströme ein, und umgekehrt in der unteren Hälfte  $DSC$  links die Annäherungs-, rechts die ihnen gleichgerichteten Entfernungsströme, und es ergibt sich demnach im ganzen in der oberen Hälfte ein Strom in der Richtung  $CND$ , in der unteren entgegengesetzten Richtung  $CSD$ , darum im Leitungsdraht ein kontinuierlicher Strom von  $B$  nach  $A$ .

In der That kann man für jede einzelne Spirale die Induktionswirkung der durch die Magnetpole in den Hufeisenmagneten  $N_1CS_1$  und  $S_1DN_1$  hervorgerufenen Molekularströme (vergl. § 329), welche in Fig. 282a durch die schwächeren Pfeile angedeutet sind, verfolgen. Beispielsweise werden in der Spirale  $J$ , bei einem Fortschieben im Sinne der Zeiger einer Uhr, durch die Molekularströme zwischen  $H$  und  $J$  ein gleichgerichteter Entfernungsstrom (§ 331), durch die Molekularströme zwischen  $J$  und  $S_1$  ein entgegengesetztgerichteter Näherungsstrom induziert, welche beiden Ströme, bei gleicher Stärke, einander aufheben. Ebenso heben die Induktionswirkungen der Molekularströme der einen und der anderen, symmetrisch zu  $J$  liegenden Hälfte des Ringstückes  $GDFN_1$ , auf die Spirale  $J$  sich gegenseitig auf, weil die durch die erste Hälfte erzeugten Näherungsströme und die von der zweiten Hälfte erzeugten Entfernungsströme von entgegengesetzter Richtung sind. Dagegen verdoppeln sich die durch das Ringstück  $HN_1$ , auf der einen und durch das auf der anderen Seite von  $J$  liegende Stück  $S_1G$  induzierten Entfernungsströme und Näherungsströme, welchen als von entgegengesetzt fließenden Molekularströmen herrührend dieselbe Richtung zukommt, in ihrer Wirkung. Demnach entsteht im ganzen in der Spirale  $J$  ein Strom, welcher den Molekularströmen in  $HN_1$  gleichgerichtet ist.

Dasselbe gilt, und zwar in erhöhtem Maße, für den in der Spirale  $K$  erzeugten Strom, der dieselbe Richtung erhält wie die Molekularströme in  $N_1E$ : der Strom in  $K$  ist also dem in  $J$  gleichgerichtet, aber von größerer Stärke. Und so ergibt sich im ganzen, daß der Strom in der oberen Ringhälfte dieselbe Richtung, in der unteren die entgegengesetzte Richtung hat und im Leitungsdraht von  $B$  nach  $A$  hin fließt.

Weil der Grammesche Ring bei der Drehung fortgesetzt an anderen Stellen magnetisch wird und den Magnetismus wieder verliert, tritt eine starke Erwärmung desselben ein; dieselbe hat sich dadurch verringern lassen, daß man den massiven Eisenring durch ein Bündel von Eisendrähten ersetzt hat, welche dem Wechsel des Magnetismus weniger Widerstand entgegensetzen. Noch mehr aber ist dieser Erwärmung in den v. Hefner-Alteneckschen Maschinen dadurch vorgebeugt worden, daß statt des Ringes ein Hohlzylinder aus weichem Eisen angewandt wird, welcher als Kern von einer Trommel aus dünnem Messingblech umgeben ist. Um diese Trommel sind der Länge nach verschiedene Stränge Kupferdraht gewickelt, deren Enden in eigentümlicher Weise an der Stirnfläche der Trommel verbunden sind, so daß auch hier zwei Schleifbürsten als Elektroden dienen. Die Trommel befindet sich zwischen den Polen zweier Reihen von kräftigen Hufeisenmagneten, deren gleichnamige Pole einander gegenüberstehen und durch cylindrische Eisenstücke verbunden sind. Durch diese Doppelreihe entgegengesetzter Pole wird der Kern stark transversal-magnetisch und werden bei der Drehung stärkere Ströme induziert als durch die Grammeschen Maschinen.

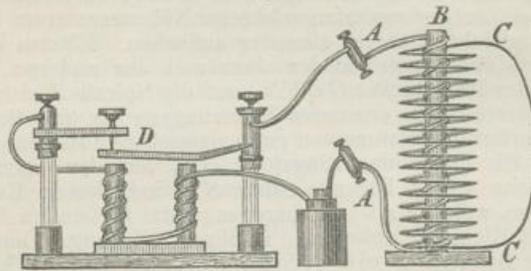
Zur elektrischen Kraftübertragung wird die Stromerzeugungsmaschine mit einer zweiten dynamischen Maschine leitend verbunden. In dieser wird durch den intensiven, elektrischen Strom ein Cylinder mit solcher Stärke in Drehung versetzt, daß weiterhin, vermittelt eines Triebwerkes, jeder beliebige mechanische Nutzeffekt erzielt werden kann. Es ist jedoch dabei zu bemerken, daß durch die Drehung der Armatur zwischen den ein sogenanntes Kraftfeld bildenden Magnetpolen ein elektrischer Strom hervorgerufen wird, dessen Richtung entgegengesetzt ist der des elektrischen Stromes, welcher in der zweiten Maschine durch die elektrische Übertragung der in Betrieb gesetzten Maschine erzeugt wird. Weil nun diese beiden entgegengesetzt gerichteten Ströme dieselbe Leitung durchfließen, so wird der Betriebsstrom durch den induzierten Strom teilweise aufgehoben, und es ist als Arbeitsleistung der zweiten Maschine höchstens die Hälfte der ursprünglichen

Betriebskraft zu erreichen. Während der Elektrizitätsausstellung in München (1882) wurde im Glaspalast mittelst der Telegraphenleitung durch eine 57 km entfernte Dampfmaschine eine Wasserpumpe von etwa 2 Pferdekräften in Betrieb erhalten.

Siemens hat schon 1879 einen kleinen Wagen auf leitenden Stahlschienen durch den elektrischen Strom zur Beförderung von Personen in Thätigkeit gesetzt und im Sommer 1881 in Lichterfelde bei Berlin eine elektrische Eisenbahn von 2,5 km Länge eröffnet, deren Betrieb zurückzuführen ist auf eine etwa 500 m vom Ausgangspunkt der Bahn durch eine Dampfmaschine in rasche Umdrehung versetzte dynamoelektrische Maschine, während eine zweite dynamische Maschine, für den Beobachter unsichtbar, am Wagen angebracht ist. (Über die Anwendung derartiger Maschinen zur Erzeugung elektrischen Lichtes vergl. § 336.)

§ 333. Der elektromagnetische Induktionsapparat (Fig. 283) ist folgendermaßen eingerichtet. Eine Spirale mit einer mäßigen Anzahl von Windungen starken, besponnenen Kupferdrahtes *A* enthält in ihrem

Fig. 283.



Innern ein Bündel dünner, weicher Eisendrähte *B*, welche zweckmäßig durch Firnis von einander isoliert sind. Diese Spirale, welche die primäre oder induzierende Spirale genannt wird, ist umgeben von einer sekundären oder Induktionsspirale *C* aus sehr zahlreichen und sorgfältig isolierten Windungen eines sehr langen, dünnen Drahtes. Von der Anzahl dieser Windungen (Fig. 283 sind absichtlich nur wenige Windungen gezeichnet) und der Vollkommenheit ihrer Isolierung wird vorzugsweise der Grad der Wirksamkeit des Apparates bedingt. Endlich ist ein wesentlicher Teil des Apparates der in den Strom der primären Spirale eingeschaltete Selbstunterbrecher *D* (§ 323), welcher den induzierenden Strom in kurzen Zeitintervallen öffnet und schließt, wodurch der Eisenkern der Spirale abwechselnd magnetisiert und entmagnetisiert wird, und in der Induktionsspirale Induktionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung entstehen.

Auch ohne Vorhandensein des Eisenkerns würden durch Öffnen und Schließen des Hauptstromes in der sekundären Spirale abwechselnd entgegengesetzte Induktionsströme erzeugt werden. Die magnetoelektrischen Induktionsströme, welche durch Entstehen und Verschwinden des Magnetismus im Eisenkern hervorgerufen werden, übertreffen aber an Stärke bei weitem die durch den Hauptstrom allein erzeugten Induktionsströme. Man wählt ein Drahtbündel anstatt eines massiven Eisenkernes, weil dünne Drähte den Magnetismus viel schneller annehmen und wieder verlieren als eine massive Eisenmasse und deshalb kräftigere Induktionsströme erzeugen.

Wie der Strom der primären Spirale und der entstehende und verschwindende Magnetismus des Eisenkerns auf die Windungen der sekundären Spirale induzierend wirken, so entsteht auch in den Windungen der Hauptspirale selbst im Augenblick des Öffnens und Schließens der Kette ein Induktionsstrom, welcher Extrastrom genannt wird. Der Schließungsextrastrom ist dem induzierenden Strom entgegengesetzt, er schwächt daher seine Intensität im Augenblick der Schließung, oder bewirkt, daß derselbe nicht plötzlich, sondern erst innerhalb eines gewissen, aller-

dings  
nungs  
daher  
plötzli  
Extra  
strom  
von d  
Strom  
dieser  
nungs  
vollkom  
währe  
der Ö  
steht.  
strom  
wenn  
schlos  
des ge  
extras  
der S  
höhen  
zu ve  
(1853)  
große  
denen  
durch  
sich i  
Konde  
stelle

§  
ström  
welche  
nadel,  
von I  
Wirku  
ström  
Stärke  
Mittel  
der I  
appara  
zur E  
283)  
zu Ho  
spirale  
dukti  
Spiral  
Luftst  
spirale  
citäre  
Indu  
Glasp  
A  
der ab  
begren  
der F  
umgeb  
die er

dings sehr kurzen Zeitraumes zu seiner vollen Stärke anwachsen kann. Der Öffnungsextrastrom umgekehrt ist dem Hauptstrom gleich gerichtet, er verlängert daher seine Dauer beim Öffnen der Kette, oder bewirkt, daß die Stromstärke nicht plötzlich, sondern erst innerhalb einer kurzen Zeit auf Null herabsinkt. Beide Extrastrome sind der Entwicklung des eigentlichen Induktionsstromes in der sekundären Spirale schädlich, da dessen Stärke wesentlich von der Geschwindigkeit des Entstehens und Verschwindens des induzierenden Stromes bedingt wird. Es muß jedoch bemerkt werden, daß der Schließungsstrom dieser schwächenden Wirkung in viel höherem Grade unterworfen ist, als der Öffnungsstrom. Der Schließungsextrastrom findet nämlich in der Hauptspirale eine vollkommen geschlossene Leitung, kann also vollständig zur Entwicklung kommen, während beim Öffnen der Kette der Extrastrom nur so lange andauern kann, als der Öffnungsfunke, welcher an der Unterbrechungsstelle des Hauptstromes entsteht. An der Beschaffenheit dieses Funkens kann man den Einfluß des Extrastromes erkennen. Derselbe erscheint nämlich sehr viel stärker und massiger, wenn eine mit einem Eisenkern versehene Drahtspirale in die Strombahn eingeschlossen ist, als ohne dieselbe, obgleich im letzteren Fall die Stromstärke infolge des geringeren Widerstandes größer ist. — Wegen der kürzeren Dauer des Öffnungsextrastromes ist auch der Öffnungsinduktionsstrom kürzer, aber weit intensiver als der Schließungsinduktionsstrom. Um die Stärke des Öffnungsstromes noch zu erhöhen, sucht man die Dauer des Unterbrechungsfunkens im Hauptstrom möglichst zu verringern. Dies geschieht am besten durch den Fizeauschen Kondensator (1853). Dieser besteht aus zwei durch Wachstaffet getrennten Stanniolblättern von großer Oberfläche, welche mit den beiden Teilen des Stromunterbrechers, zwischen denen die Unterbrechung stattfindet, in leitender Verbindung stehen. Es wird dadurch bewirkt, daß die entgegengesetzten Elektricitäten des Extrastromes, welche sich im Öffnungsfunken auszugleichen streben, sich auf den Stanniolblättern des Kondensators gegenseitig binden, wodurch ihre Spannung an der Unterbrechungsstelle vermindert und die Dauer des Unterbrechungsfunkens verkürzt wird.

§ 334. Wirkungen der Induktionsströme. Durch Induktionsströme können im allgemeinen alle Wirkungen hervorgebracht werden, welche den galvanischen Strömen zukommen, wie Ablenkung der Magnetnadel, Magnetisierung von weichem Eisen und Stahl, Glühen und Schmelzen von Drähten, Lichterscheinungen, chemische Zersetzungen, physiologische Wirkungen. Ihren besonderen Charakter aber erhalten die Induktionsströme einerseits durch ihre kurze Dauer, andererseits durch ihre große Stärke. In dieser doppelten Beziehung bilden dieselben gewissermaßen ein Mittelglied zwischen dem galvanischen Strom und dem Entladungsstrom der Leydener Batterie. Namentlich sind die beschriebenen Induktionsapparate wegen der schnellen Aufeinanderfolge diskontinuierlicher Ströme zur Erzeugung starker, physiologischer Wirkungen (vergl. §§ 273, 283) auf den tierischen und menschlichen Körper geeignet, welche vielfach zu Heilzwecken benutzt werden. — Sind die Drahtenden der Induktionsspirale in gut leitender Verbindung, so gleichen sich die durch den Induktionsstrom getrennten Elektricitäten ohne weiteres in der geschlossenen Spirale aus. Ist dagegen die Leitung zwischen den Drahtenden durch eine Luftstrecke unterbrochen, so erreichen, bei großer Länge der Induktionsspirale, die auf den Drahtenden angesammelten, entgegengesetzten Elektricitäten eine hinreichende Spannung, um den Zwischenraum in Form eines Induktionsfunkens zu überspringen, ja sogar Nichtleiter, wie z. B. Glasplatten von beträchtlicher Dicke, zu durchbrechen.

Am Induktionsfunken sind zwei Teile zu unterscheiden, der eigentliche Funke, der als hell leuchtender, bei größerer Länge zickzackförmig gebrochener, scharf begrenzter Lichtstreif von einem zum andern Poldraht übergeht und am meisten der Funkenentladung der Elektrisiermaschine entspricht, und die diesen Funken umgebende, rötlich gefärbte Lichthülle oder Aureole, an welche hauptsächlich die erwärmenden und zündenden Wirkungen des Induktionsfunkens gebunden sind.

Bläst man einen Luftstrom auf den Funken, so folgt die Aureole seiner Einwirkung und wird seitwärts abgelenkt, während der eigentliche Funke nicht beeinflusst wird. In der Aureole scheint gleichsam eine Leitung des elektrischen Stromes durch die Luft stattzufinden, während der Funke eine gewaltsame Durchbrechung derselben bildet. Verbindet man die Drahtenden, zwischen denen der Induktionsfunke übergeht, mit den Belegungen einer Leydener Flasche, so verschwindet die Aureole, und die Funken werden kürzer, aber massiger und sind mit stärkerem Geräusch verbunden. — Beim Übergehen der Induktionsfunken erwärmt sich besonders stark der negative Poldraht. Dünner Eisendraht wird leicht bis zum Glühen und Verbrennen erhitzt.

Rühmkorff (1851) u. a. haben Induktionsapparate von außerordentlicher Wirkung hergestellt, welche bei einer Länge des Induktionsdrahtes von 60 cm Funken von 30—40 cm Länge erzeugten. (Um mittelst der Spannung an den Polen einer galvanischen Kette einen Luftraum von 0,2 mm zu überspringen, brauchte Gassiot eine Säule von mehr als 3000 Elementen.)

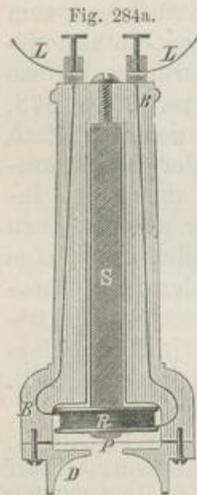
Von vorzüglicher Schönheit sind die Lichterscheinungen, welche beim Durchgang des Induktionsstromes durch sehr verdünnte Gase und Dämpfe erzeugt werden. Die Gase zeigen im verdünnten Zustand ein sehr viel größeres Leitungsvermögen, als unter dem Druck der Atmosphäre; der absolut luftleere Raum dagegen vermag die elektrische Entladung nicht zu leiten. Am schönsten zeigen sich die

Fig. 284.



Entladungserscheinungen des Induktionsapparats in den sogenannten Geißlerschen Röhren, d. i. Glasröhren von verschiedener Gestalt, welche mit sehr verdünnten Gasen oder Dämpfen gefüllt, an beiden Enden *A* und *B* zugeschmolzen und zur Zuleitung des Stromes mit eingeschmolzenen Platindrähten versehen sind. Nur der Öffnungsinduktionsstrom vermag, infolge seiner größeren Intensität, den Widerstand des Luftraumes zu überwinden. Die beiden Pole unterscheiden sich durch die an ihnen stattfindenden Lichterscheinungen. Der negative Poldraht *B* nämlich erscheint ganz von einem Lichtmantel umhüllt, und das in der Regel bläuliche Licht erstreckt sich am negativen Pol durch die ganze Weite der Röhre. Am positiven Pol dagegen geht das in der Regel mehr rötliche Licht von einem Punkt an der Spitze des Poldrahtes in Form eines Büschels aus. Der größte Teil der Röhre erscheint von Licht erfüllt, welches aber in der Regel nicht gleichförmig zusammenhängend ist, sondern aus einer Reihenfolge abwechselnd heller und dunkler Schichten besteht, die namentlich bei Gegenwart gewisser Dämpfe (von ätherischen Ölen, Alkohol, Holzgeist u. dergl.) deutlich hervortreten. In weiteren Röhren erscheinen die hellen

Schichten uhrglasförmig gekrümmt und kehren sämtlich die gewölbte Seite dem negativen Ende der Röhre zu. Zwischen dem geschichteten Licht und dem bläulichen Licht, welches den negativen Poldraht umhüllt, ist in der Regel ein dunkler Zwischenraum bemerkbar. Das elektrische Licht der Geißlerschen Röhren ist sehr reich an chemisch wirksamen und Fluorescenz erzeugenden, ultravioletten Strahlen (s. §§ 152 und 153), durch welche in dem Glase der Röhren schöne Fluorescenzerscheinungen hervorgerufen werden. Mit dem Prisma analysiert zeigt das Spektrum des elektrischen Lichts gewisse helle, glänzende Linien, welche je nach der chemischen Beschaffenheit der in den Röhren enthaltenen Gase oder Dämpfe verschieden sind, und aus denen man schließen muß, daß das Licht in der That von den materiellen Teilchen dieser Stoffe ausgesendet wird (vergl. § 149).



Eine sehr interessante Anwendung der Wirkungen der Induktionsströme ist von Graham Bell (1877) durch das Telephon oder den Fernsprecher gemacht worden. Ein runder Stahlstab *S* (Fig. 284a) von 12 cm Länge und 1 cm Dicke ist magnetisiert und an dem einen Ende mit einem kurzen Cylinder *R* aus weichem Eisen armiert, welcher den Kern einer Induktionsrolle bildet; er ist in einer Holzbüchse eingeschlossen, welche ihrerseits aus zwei Teilen besteht, dem mit einer runden Schall-

öffnung versehenen Deckel *D* und der eigentlichen Büchse *B*, zwischen denen ein rundes Eisenblech *P* am äußeren Rande festgeklemmt ist. Der Mitte des Bleches

steht d  
über.  
Verbi  
ein g

Tr  
in ihre  
einem  
P in S  
ihm en  
geschw  
tionsstr  
Appara  
Magne  
veranla  
Schall,  
raschen  
aufero  
in Bew  
werden  
gungen

De  
zur Ve  
wendu  
sowie  
3 mm  
erster  
Ph. Re  
ströme

De  
gefolgt,  
Amplit  
leiser  
Ebenso  
von E  
einem S  
Streifen  
Höhe h

C. W

S  
Ein vo  
und z  
Draht  
Nach e  
einhe  
und d

B  
es zwe

mit mö

D  
werden  
erhitzt,  
geringe  
schmol  
trischer  
geeigne

steht der auf dem Magnet befestigte Eisenkern mit seiner Drahtspirale nahe gegenüber. Die Drahtenden sind an Klemmschrauben befestigt, welche zugleich die Verbindung herstellen mit den beiden Leitungsdrähten  $L$  zur anderen Station, wo ein ganz gleicher Apparat zur Aufnahme und Wiedergabe der Depesche dient.

Tritt durch die Schallöffnung ein Schall in den Apparat, etwa dadurch, daß in ihrer Nähe mit deutlicher Betonung gesprochen oder gesungen wird, oder von einem beliebigen musikalischen Instrument Töne ausgehen, so gerät die Eisenplatte  $P$  in Schwingungen, und weil sie sich dabei bald dem Eisenkern nähert, bald von ihm entfernt, so wird auch der Magnetismus dieses Kernes bald verstärkt, bald geschwächt, und werden demnach in der ihn umgebenden Induktionsrolle Induktionsströme erzeugt, welche durch die Leitungsdrähte auf den zeicheneempfangenden Apparat übertragen werden, hier umgekehrt vermittelt der Induktionsrolle den Magnetismus des Eisenkernes verändern, in der Eisenplatte schwingende Bewegungen veranlassen und endlich in einem der Schallöffnung genäherten Ohr einen gleichen Schall, wie auf der zeichengebenden Station, zur Geltung bringen. Besonders überraschend und nur durch Molekularbewegung zu erklären ist dabei, daß durch die außerordentlich kleinen Schwingungen, in welche ein Eisenblech durch Schallwellen in Bewegung versetzt wird, Induktionsströme von hinreichender Stärke erzeugt werden, so daß in dem weit entfernten Eisenblech des zweiten Telefons Schwingungen von gleicher Wirkung entstehen.

Der Fernsprecher kommt bei der Post unter Benutzung von Doppelleitungen zur Verbindung von Stationen bis zu Entfernungen von über 100 km zur Anwendung. Zwischen den Fernsprechnetzen der Städte Berlin-Dresden (230 km), sowie Berlin-Breslau (348,3 km) ist 1888 eine besondere Telegraphenlinie aus 3 mm starkem Bronzedraht hergestellt und dem Betriebe übergeben worden. Ein erster Anfang zur Lösung der Aufgabe, Töne zu telegraphieren, war bereits von Ph. Reis in Frankfurt a. M. (1861) gemacht worden, welcher konstante Batterieströme zur Übertragung von Molekularbewegung benutzte.

Der Erfindung des Telefons ist (1878) die des Mikrophons von Hughes gefolgt, vermittelt dessen durch Molekularbewegung Schwingungen von kleinster Amplitude telephonisch bemerkbar werden, welches also zur Wahrnehmung sehr leiser Geräusche dient, wie das Mikroskop zur Wahrnehmung sehr kleiner Objekte. Ebenso ermöglicht durch Übertragung von Molekularbewegung der Phonograph von Edison (1877) beliebige Töne, z. B. der menschlichen Stimme, derartig auf einem Stanniolstreifen zu fixieren, daß Gesprochenes oder Gesungenes, solange der Streifen auf der Walze ungeändert bleibt, in seiner ursprünglichen Klangfarbe und Höhe hörbar gemacht werden kann.

### C. Wärme- und Lichtentwicklung durch galvanische Ströme, Erzeugung elektrischer Ströme durch Wärme.

§ 335. Erwärmung und Schmelzung von Metalldrähten. Ein von einem elektrischen Strom durchflossener Metalldraht wird erwärmt und zwar um so stärker, je größer die Stromstärke, je dünner der Draht und je schlechter leitend das Metall ist, aus welchem er besteht. Nach einem von Joule aufgestellten Gesetz ist die während der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge dem Widerstand des Drahtes und dem Quadrat der Stromstärke direkt proportional (vgl. § 282).

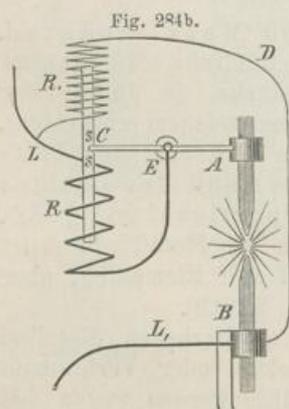
Bei Versuchen über das Glühen und Schmelzen von Metalldrähten ist es zweckmäßig, Ketten aus einer geringen Anzahl von Elementen, aber mit möglichst großer Plattenoberfläche anzuwenden (§ 318).

Drähte aus leicht schmelzbaren oder leicht oxydierbaren Metallen werden durch starke Ströme leicht bis zum Schmelzen oder Verbrennen erhitzt. Selbst dünne und nicht zu lange Platindrähte werden wegen des geringen spezifischen Leitungsvermögens dieses Metalls (§ 319) leicht geschmolzen. Man benutzt die Erhitzung dünner Drähte durch den elektrischen Strom zur Zündung von Minen durch Patronen, welche dazu auf geeignete Weise vorgerichtet und mit den isolierten Leitungsdrähten einer

galvanischen Batterie in Verbindung gesetzt werden. Die Funken des Induktionsapparates (§ 334) sind neuerdings mit Vorteil zu demselben Zweck benutzt worden. Auch in flüssigen Leitern wird durch den Strom eine ihrem Widerstand proportionale Wärmemenge erzeugt.

§ 336. Unterbrechungsfunke; Davyscher Lichtbogen, elektrisches Kohlenlicht. Bei Unterbrechung des metallischen Schließungsbogens einer galvanischen Kette zeigt sich an der Trennungsstelle ein Funke, welcher besonders lebhaft ist, wenn in den Stromkreis Drahtspiralen eingeschaltet sind, in denen magnetisierbare Eisenkerne stecken (vergl. § 333). Um dagegen einen Schließungsfunken zu erhalten, bedarf es, wegen der geringen Spannung der freien Elektrizität an den Polen der offenen Kette, einer sehr kräftigen Batterie von mehreren Hundert Elementen. Hat man jedoch die Poldrähte einer Kette von etwa 20—30 Bunsenschen Elementen bis zur Berührung genähert, so darf man dieselben um eine gewisse geringe Strecke von einander entfernen, ohne die Stromleitung zu unterbrechen. Die durch die intensive Erhitzung an der Unterbrechungsstelle verflüchtigten Metallteilchen bilden dann einen die Stromleitung vermittelnden, glänzenden Lichtbogen zwischen den beiden Poldrähften, welcher der Davysche Lichtbogen genannt wird. Besonders glänzend erscheint derselbe, wenn bei einer Kette von 50—60 Elementen anstelle der metallischen Poldrähfte Kohlenspitzen angewendet werden, die dabei zum hellsten Weißglühen erhitzt werden und nebst dem sie verbindenden Lichtbogen ein Licht ausstrahlen, welches an Intensität dem Sonnenlicht vergleichbar ist.

Eine praktische Anwendung hat das elektrische Kohlenlicht vorzugsweise auf Leuchttürmen gefunden. Die Kohlenspitzen können im Brennpunkt eines parabolischen Reflektors aufgestellt werden, durch welchen die Lichtstrahlen nach der gewünschten Richtung zurückgeworfen werden. Da die Kohlenspitzen, besonders die positive, durch die Hitze des Lichtbogens und besonders durch eine eigentümliche, verflüchtigende Wirkung des Stromes selbst ziemlich schnell abgenutzt werden, so muß durch eine geeignete Vorrichtung dafür gesorgt werden, die Kohlenspitzen in unveränderlicher Entfernung zu erhalten, was durch einen selbstthätigen Regulator erreicht werden kann, der durch einen vom Strom erregten Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wird.



wurden. Vor allem ist hier die von v. Hefner-Alteneck in die Praxis eingeführte Differentiallampe zu nennen. In der schematischen Figur 284b ist die Stromverzweigung, sowie der Mechanismus, durch den die Kohlenspitzen in passender Entfernung von einander gehalten werden, dargestellt.

Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes, welches seit einigen Jahren dem Gaslicht bei Beleuchtung von öffentlichen Straßen und Plätzen, Fabrikräumen, Kaufhallen u. s. w. Konkurrenz zu machen beginnt, werden magnetoelektrische Maschinen neuerer Konstruktion (§ 332) angewendet. Sollte die elektrische Beleuchtung mit der Gasbeleuchtung erfolgreich konkurrieren, so mußte vor allem die Aufgabe gelöst werden, mehrere elektrische Lampen an verschiedenen Stellen derselben Stromleitung einzuschalten und zwar in einer derartigen Unabhängigkeit von einander, daß nicht jede durch den Lichtbogen einer Lampe veranlaßte Stromschwankung auch im Licht der übrigen Lampen Störungen zur Folge hatte, oder daß nicht durch das Verlöschen einer Lampe das Weiterbrennen der übrigen gefährdet wurde. Dieses Problem wurde 1879 gelöst und zwar dadurch, daß durch eine Stromverzweigung (§ 319a) die Lampen gewissermaßen von einander isoliert und von der Hauptleitung möglichst unabhängig gemacht

Ca  
stäbche  
halten  
Rolle  
größer  
L find  
LRE  
versetz  
nächste  
Sin  
allein d  
dadurch  
vermitt  
Teil de  
diese e  
Eisenst  
entfern  
die anz  
Widers  
sich da  
Sel  
geschme  
trode in  
getroffe  
Gläser  
sammen  
Außer  
herrühr  
positiver  
erleidet.  
Länge.  
Mit  
Linien  
hängen,  
dieser S  
wirksam  
Übe  
dünnen

§  
worden  
oder a  
nungsre  
kann,  
der sog  
lich ist.  
wenn m  
z. B. K  
Kette  
Lötstell  
kalt bl  
welcher  
Wirkun  
vermag  
dem Ten  
Übrigen  
Metalle  
an der  
vom An

$CA$  ist ein um  $E$  drehbarer Hebel, an dessen Enden bezüglich das Eisenstäbchen  $ss$  und der obere Kohlenhalter  $A$  angebracht sind. Der untere Kohlenhalter  $B$  ist anderweitig befestigt. Das Eisenstäbchen ist unterhalb durch eine Rolle  $R$  dickeren Drahtes, oberhalb durch eine Rolle  $R_1$  dünneren Drahtes, die zu größerem Leitungswiderstand aus mehr Umwindungen besteht, umschlossen. Bei  $L$  findet eine Teilung des elektrischen Stromes in die beiden Zweige  $LR_1D$  und  $LRE$  statt, welche sich, wenn die Kohlenspitzen durch den Lichtbogen in Leitung versetzt sind, beim Austreten aus der Lampe bei  $L_1$  zu weiterer Leitung nach der nächsten Lampe hin vereinigen.

Sind die Kohlenspitzen zunächst von einander getrennt, so geht der Strom allein durch die dünnere Rolle  $R_1$ , und diese zieht den Eisenstab in sich hinauf; dadurch aber wird das andere Ende  $A$  des Hebels gesenkt, bis die Kohlenstäbe vermittelt einer Ausschaltung zur Berührung kommen. Jetzt geht der größere Teil des Stromes vermittelt der dickeren Rolle  $R$  durch die Kohlenstäbe, und diese entzünden sich an der Berührungsstelle, gleichzeitig aber wird durch  $R$  der Eisenstab nach unten gezogen und dadurch die Kohlenstäbe wieder von einander entfernt, infolgedessen der Widerstand des Lichtbogens vermehrt und mit diesem die anziehende Wirkung des andern Stromzweiges in  $R_1$ , bis bei einem bestimmten Widerstande des Lichtbogens die von  $R$  und  $R_1$  auf  $ss$  ausgeübten Anziehungen sich das Gleichgewicht halten.

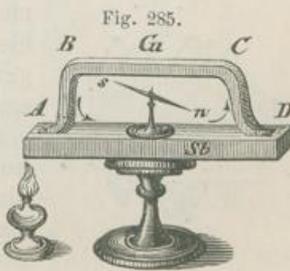
Selbst die feuerbeständigsten Stoffe können im Davyschen Lichtbogen (1821) geschmolzen und verflüchtigt werden, indem man dieselben mit der positiven Elektrode in Berührung bringt. Die Metalle schmelzen wie Wachs, und wenn Vorsorge getroffen wird, daß das flüssige Metall nicht abfließt, kann der durch dunkle Gläser gegen das blendende Licht geschützte Arbeiter die härtesten Metalle zusammenschmelzen. (Das Benardossche Löt- und Schweißverfahren, 1887.) Außer der Erhitzung, die von dem großen Leitungswiderstand des Lichtbogens herrührt (§ 335), findet in demselben eine Überführung materieller Teilchen vom positiven zum negativen Pol statt, weshalb ersterer stets eine schnellere Abnutzung erleidet. In verdünnter Luft erreicht der Lichtbogen eine viel beträchtlichere Länge, als in der freien Atmosphäre.

Mittels des Prismas untersucht, zeigt das Licht des Davyschen Bogens helle Linien, welche von der Beschaffenheit der Metalle oder sonstigen Substanzen abhängen, zwischen denen die Entladung stattfindet, und von den glühenden Dämpfen dieser Substanzen herrühren. Besonders reich ist das elektrische Licht an chemisch wirksamen (ultravioletten) Strahlen (§ 152).

Über die Lichterscheinungen bei Entladung des Induktionsstromes in verdünnten Gasen und Dämpfen siehe oben § 334.

§ 337. Thermoelektrische Ströme. Oben (§ 308) ist gezeigt worden, daß eine geschlossene Kette aus zwei oder mehreren Metallen oder anderen Elektrizitätsleitern, die das Gesetz der elektrischen Spannungsreihe befolgen, im allgemeinen keinen galvanischen Strom erzeugen kann, sondern daß zum Zustandekommen eines solchen die Mitwirkung der sogenannten Leiter zweiter Klasse erforderlich ist. Seebeck entdeckte jedoch (1821), daß wenn man in einer solchen aus zwei Metallen, z. B. Kupfer und Antimon, zusammengelöteten Kette  $ABCD$  (Fig. 285) die eine von beiden Lötstellen, z. B.  $A$ , erwärmt, während die andere kalt bleibt, in der Kette ein Strom entsteht, welcher eine Magnetnadel abzulenken und andere Wirkungen elektrischer Ströme hervorzubringen vermag. Die Stärke des Stromes wächst mit dem Temperaturunterschied der beiden Lötstellen.

Übrigens ist Stärke und Richtung des Stromes von der Natur der beiden Metalle abhängig. Im oben angeführten Beispiel würde der positive Strom an der warmen Lötstelle vom Kupfer zum Antimon, an der kalten also vom Antimon zum Kupfer gehen. Diese in einem metallischen Schließungs-



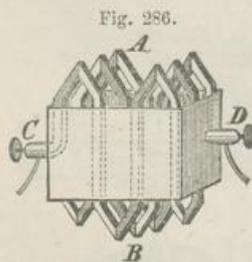
kreis durch ungleiche Erwärmung der Berührungsstellen der Metalle erzeugten Ströme werden thermoelektrische Ströme genannt. Ihre Entstehung erklärt sich durch die Annahme, daß die durch Berührung zweier Metalle erzeugte, elektromotorische Kraft (§ 307) von der Temperatur abhängig ist, so daß die an einer von beiden Berührungsstellen wirksame, elektromotorische Kraft die andere überwiegt. Hinsichtlich ihres thermoelektrischen Verhaltens lassen sich die Metalle in eine Reihe ordnen, so daß bei Verbindung irgend zweier Metalle der positive Strom an der wärmeren Lötstelle immer von dem in der Reihe voranstehenden zu dem folgenden Metall übergeht, und der Strom für gleiche Temperaturunterschiede um so stärker ist, je weiter beide Metalle in der Reihe von einander entfernt sind. Die Reihe ist folgende:

+			
Wismut	Quecksilber	Zinn	Cadmium
Nickel	Platin	Blei	Eisen
Kobalt	Gold	Zink	Antimon.
Palladium	Kupfer	Silber	—

Übrigens sind der Härtingsgrad der Metalle, ihre krystallinische Beschaffenheit, sowie kleine Beimengungen fremder Metalle von großem Einfluß auf ihr thermoelektrisches Verhalten. So können z. B. weicher, ausgeglühter und hartgezogener Kupferdraht zu einer thermoelektrischen Kette vereinigt werden. Eine Legierung von 2 Teilen Antimon mit 1 Teil Zinn zeigt noch negatives Verhalten als das reine Antimon. Markus wendet als positives Metall eine Legierung von 10 T. Kupfer, 6 T. Zink, 6 T. Kobalt, als negatives 12 T. Antimon, 5 T. Zink und 1 T. Wismut an. Bunsen und Becquerel haben gezeigt, daß gewisse in der Natur vorkommende Schwefelmetalle, namentlich Kupferkies, in thermoelektrischer Hinsicht viel positiver sind als Wismut.

Die Noëschen thermoelektrischen Elemente (1871) bestehen aus an einander gelöteten, 7 mm dicken und 27 mm langen Stäbchen von verschiedenen Metalllegierungen. Erwärmt werden dieselben an dem einen Ende durch Wärmeleitung vermittelt eines Kupferstäbchens, dagegen an dem andern Ende abgekühlt durch Kupferblech, welches der atmosphärischen Luft eine große Oberfläche darbietet. Zwanzig solcher Elemente geben, hinter einander geschaltet, etwa die elektromotorische Kraft eines Bunsenschen Elements (§ 311), zugleich aber auch einen inneren Widerstand von ungefähr drei solchen Elementen.

§ 338. Thermoelektrische Säule. Die Stärke der thermoelektrischen Ströme kann erhöht werden, indem man mehrere Elemente zu einer thermoelektrischen Säule vereinigt. Besonders wichtig ist die



Form, welche Nobili und Melloni (1830) der thermoelektrischen Säule behufs ihrer Untersuchung über die Gesetze der Wärmestrahlung (§§ 235—238) gegeben haben, und welche in Verbindung mit einem empfindlichen Galvanometer (§ 317) den Thermomultiplikator bildet. Eine Reihe von Wismut- und Antimonstäbchen ist, wie in Fig. 286 angedeutet, zickzackförmig zusammengelötet, so daß die Lötstellen abwechselnd auf der einen und auf der anderen Seite der Säule liegen. Eine größere Zahl solcher Elemente ist in Form eines Würfels verbunden, indem die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen zum Schutz und zur Isolierung mit Harzmasse ausgegossen sind, und das Ganze ist in eine Messingfassung eingeschlossen. Die Enden der Kette stehen mit den Klemmschrauben C, D in Verbindung, und von ihnen führen die Leitungsdrähte nach dem

Galvan  
B der  
so en  
ablen  
flächen

P  
stellen  
erregt  
Verbin  
eintritt  
vom A  
Richtu  
erstere  
brauc

S  
man c

Kette  
mit e

das W  
eine G

Strom  
stoff,

stoffga  
Zerset

die dt  
Elekt

Strom  
zwar c

trodre  
zwar d

der ele  
Anion

schiede  
teil od

des W  
das Ka

M  
Plating

aus ein  
sonst

scheide  
Elektro

in der  
von ein

man di  
in das

dieselb  
füllten  
bläsche

daß di  
Joch

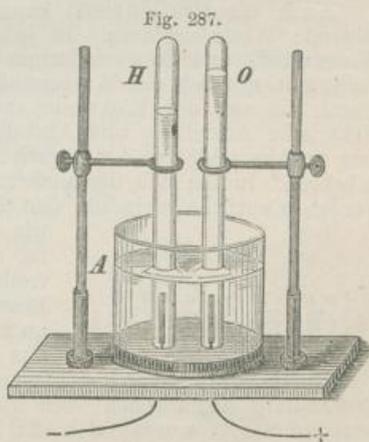
Galvanometer. Wird nun eine der beiden gegenüberstehenden Flächen *A*, *B* der Thermosäule durch Wärmestrahlen stärker erwärmt, als die andere, so entsteht ein thermoelektrischer Strom, welcher die Galvanometernadel ablenkt. Zur besseren Aufnahme der Wärmestrahlen sind die Säulenflächen *A* und *B* mit Kienruß geschwärzt (vergl. § 235).

Peltier hat (1834) entdeckt, daß wie durch ungleiche Erwärmung der Lötstellen zwischen zwei Metallen, z. B. Wismut und Antimon, ein elektrischer Strom erregt wird, so umgekehrt, wenn der Strom einer galvanischen Kette durch die Verbindungsstelle beider Metalle geleitet wird, eine entsprechende Wärmewirkung eintritt. Es findet nämlich beim Übergang des positiven Stromes in der Richtung vom Antimon zum Wismut eine Erwärmung, dagegen beim Übergang in der Richtung vom Wismut zum Antimon eine Abkühlung der Lötstelle statt. Im ersteren Fall wird also Wärme erzeugt, im letzteren dagegen wird Wärme verbraucht (§ 344).

#### D. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

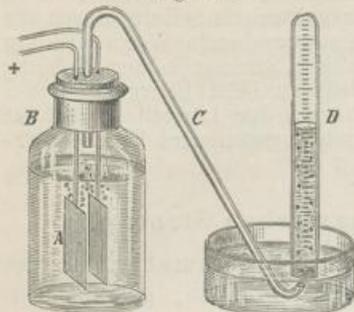
§ 339. Elektrolyse, Wasserzersetzung, Voltameter. Leitet man den Strom einer aus mehreren Elementen gebildeten, galvanischen Kette durch Wasser, welches man, um es besser leitend zu machen (§ 320), mit etwas Schwefelsäure versetzt hat, so beobachtet man an den in das Wasser tauchenden metallischen Leitungsdrähten oder Elektroden eine Gasentwicklung. Das Wasser wird nämlich durch den galvanischen Strom in seine chemischen Elementarbestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt und zwar scheidet sich Wasserstoffgas am negativen, Sauerstoffgas am positiven Poldraht aus. Man nennt den Vorgang der chemischen Zersetzung einer Flüssigkeit durch den galvanischen Strom Elektrolyse, die durch die Wirkung des Stromes sich zersetzenden Körper heißen Elektrolyten. Die in der Regel metallischen Leiter, durch welche der Strom in die Flüssigkeit geleitet wird, werden Elektroden genannt, und zwar die positive Anode und die negative Kathode. Die an den Elektroden ausgeschiedenen Bestandteile heißen Ionen (richtiger Ionten) und zwar der am positiven Pol abgeschiedene der elektronegative Bestandteil oder das Anion, der am negativen Pol abgeschiedene der elektropositive Bestandteil oder das Kation. Bei der Zersetzung des Wassers ist also das Anion Sauerstoff, das Kation Wasserstoff.

Man wählt als Elektroden am besten Platinplatten, wenigstens muß die Anode aus einem edlen Metall bestehen, da sich sonst der Sauerstoff nicht gasförmig abscheidet, sondern sich mit dem Metall der Elektrode zu Oxyd verbindet, welches sich in der Säure auflöst. Will man beide Gase von einander getrennt auffangen, so leitet man die Elektroden am besten von unten in das mit verdünnter Säure gefüllte Gefäß *A* (Fig. 287) und stülpt über dieselben die oben zugeschmolzenen und vorher ebenfalls mit Säure gefüllten Glasröhrchen *H*, *O*. Die von den Elektroden aufsteigenden Gasbläschen sammeln sich dann in diesen Glasröhren an, und man beobachtet, daß die abgeschiedenen Volumina beider Gase in demselben Verhältnis



stehen, in welchem sie in Wasser vereinigt sind, nämlich 2 Vol. Wasserstoffgas auf 1 Vol. Sauerstoffgas (§ 18). Werden beide Gase gemeinschaftlich aufgefangen, so erhält man Knallgas. Die Menge des in einer bestimmten Zeit abgeschiedenen Gases ist der Stromstärke proportional, von der Gestalt und Gröfse der Elektroden aber

Fig. 288.



unabhängig. Leitet man also denselben Strom durch mehrere hintereinander eingeschaltete Wasserzersetzungsapparate, so werden in allen gleiche Gasvolumina abgeschieden. Die Menge des in einer gewissen Zeit abgeschiedenen Gases kann daher zur Messung der Stromstärke dienen. Ein zu diesem Zweck vorgerichteter Apparat heißt Voltameter (Jacobi, 1839). Um den Leitungswiderstand möglichst zu verringern, giebt man den Elektroden zweckmäfsig die Gestalt von zwei einander nahe gegenübergestellten Platinplatten A (Fig. 288). Das weithalsige Gefäß B ist bis nahe an den Hals mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Durch den luftdicht schließenden Stöpsel gehen zwei Drähte, an welchen die Platinplatten befestigt sind, und eine gebogene Glasröhre C, durch welche die Gase entweichen und in einer graduierten Glocke D aufgefangen werden können.

Die Zerlegung des Wassers durch die Voltasche Säule wurde zuerst im Jahre 1800 von Nicholson und Carlisle beobachtet. — Der Sauerstoff scheidet sich bei der Elektrolyse nicht als gewöhnlicher Sauerstoff, sondern teilweise in derjenigen Modifikation aus, welche von Schönbein den Namen Ozon erhalten hat (§ 273) und durch einen eigentümlichen Geruch, sowie durch lebhafter oxydierende Eigenschaften ausgezeichnet ist. Geschieht die Zersetzung bei niedriger Temperatur, so verbindet sich leicht ein Teil des Sauerstoffs mit dem Wasser zu Wasserstoffsperoxyd ( $H_2O + O = H_2O_2$ ). Infolgedessen ist das abgeschiedene Sauerstoffvolumen oft etwas kleiner als die Hälfte des Wasserstoffvolumens.

Nach Grothufs (1805) kann man sich den Vorgang der Elektrolyse auf folgende Weise erklären. In jedem Wassermolekül sind die darin enthaltenen Wasserstoff- und Sauerstoffatome durch gegenseitige Berührung entgegengesetzt elektrisch, nämlich die Wasserstoffatome besitzen  $+E$ , die Sauerstoffatome  $-E$ . Durch die von den Elektroden auf die zunächst befindlichen Moleküle ausgeübte elektrische Anziehung und Abstofsung werden diese zunächst so geordnet, daß sie ihre positive (H-)Seite der negativen, ihre negative (O-)Seite der positiven Elektrode zukehren. Indem sich die anziehende Wirkung von Molekül zu Molekül fortpflanzt, werden sämtliche zwischen den Elektroden befindlichen Moleküle in der Weise,

Fig. 289.



gleichzeitig alle dazwischen liegenden Moleküle durch gegenseitige Zersetzung ihre Bestandteile austauschen, wie dies durch die darüber geschriebenen Buchstaben angedeutet ist, worauf sich die Moleküle durch die fortdauernde Anziehung der Elektroden wieder in der ursprünglichen Weise ordnen u. s. f., solange die Kette geschlossen bleibt.

§ 340. Zerlegung anderer binärer Verbindungen, elektrolitischen Gesetz von Faraday. Wie das Wasser, so werden die meisten anderen binären, chemischen Verbindungen zerlegt, wenn sie im flüssigen oder gelösten Zustande der Wirkung des Stromes ausgesetzt

werden  
nur zu  
Chlori  
Besta  
mit d  
an der  
meng  
troly  
chem  
gleich  
werd

I  
gescha  
die zw  
enthäl  
35,5 G  
108 G

M  
Alkali  
auszus  
Chlor  
bindun  
An die  
Heraus  
wendet  
lingt d  
oder N  
Quecks  
Alkali  
schwan  
dem A

§  
Leitet  
schwe  
tiven  
und S  
vorstel  
aber le  
sogleic  
Elektro  
Elektro  
selben  
positiv  
Kupfer  
zu Ku  
eine Ü  
zur ne  
samme  
bleibt.  
aus ih  
U  
Strom  
Ionen

werden, ja es scheint, daß flüssige Verbindungen überhaupt den Strom nur zu leiten vermögen, indem sie von ihm zersetzt werden. Aus Oxyden, Chloriden, Bromiden, Sulfiden wird O, Cl, Br, S als elektronegativer Bestandteil an der Anode, dagegen der Wasserstoff oder das Metall, welches mit diesen Grundstoffen verbunden ist, als elektropositiver Bestandteil an der Kathode abgeschieden. Faraday fand (1834), daß die Gewichtsmengen der durch denselben Strom aus verschiedenen Elektrolyten ausgeschiedenen Bestandteile im Verhältnis ihrer chemischen Verbindungs- oder Atomgewichte stehen, oder daß gleiche Atomgewichte der verschiedenen Verbindungen zersetzt werden.

Leitet man z. B. denselben Strom durch drei hinter einander eingeschaltete Zersetzungszellen, von denen die erste Chlorwasserstoffsäure, die zweite verdünnte Schwefelsäure, die dritte geschmolzenes Chlorsilber enthält, so werden in gleicher Zeit in der ersten Zelle 1 Gew. H und 35,5 Gew. Cl, in der zweiten Zelle 1 Gew. H und 8 Gew. O, in der dritten 108 Gew. Ag und 35,5 Gew. Cl ausgeschieden (§ 16).

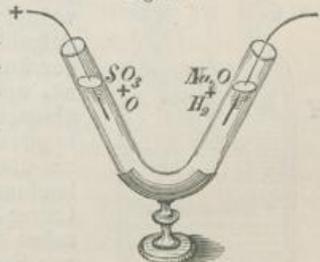
Mit Hilfe der galvanischen Kette gelang es Davy (1808) zuerst, die Metalle der Alkalien und Erden (Kalium, Natrium, Calcium u. s. w.) aus ihren Verbindungen auszuscheiden. Zur Abscheidung des Kaliums schmilzt man kaustisches Kali oder Chlorkalium in einem Platintiegel, der mit dem positiven Pol der Kette in Verbindung steht, und taucht den negativen Poldraht in die geschmolzene Verbindung. An diesem scheiden sich dann metallische Kügelchen von Kalium ab, die beim Herausziehen des Poldrahtes an der Luft mit violetter Flamme verbrennen. (Davy wendete zu diesem Versuch eine Säule von 100 Plattenpaaren an.) Leichter gelingt der Versuch, wenn man in eine Aushöhlung eines feuchten Stückes Kali- oder Natronhydrat, das mit dem positiven Pol verbunden ist, eine kleine Menge Quecksilber bringt und in dieses den negativen Poldraht taucht. Das abgeschiedene Alkalimetall amalgamiert sich mit dem Quecksilber, welches dadurch zu einer schwammigen Masse anschwillt. Durch Abdestillieren des Quecksilbers kann aus dem Amalgam das reine Metall gewonnen werden.

### § 341. Elektrolyse der Sauerstoffsalze. Sekundäre Ionen.

Leitet man den elektrischen Strom durch eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd (Kupfervitriol,  $\text{Cu SO}_4$ ), so wird an der negativen Elektrode metallisches Kupfer, an der positiven dagegen Sauerstoff und Schwefelsäure ausgeschieden. Man kann sich also die Zersetzung so vorstellen, als werde die Verbindung  $\text{CuSO}_4$  in  $\text{Cu}$  und  $\text{SO}_4$  zerlegt, wobei aber letzterer Bestandteil (Daniells Oxysulfion) sogleich in  $\text{SO}_3 + \text{O}$  zerfällt. Bestehen beide Elektroden aus Kupfer, so wird an der negativen Elektrode Kupfer ausgeschieden, welches an derselben haftet und ihr Gewicht vermehrt; an der positiven Elektrode dagegen löst sich eine gleiche Kupfermenge auf, indem sie sich mit  $\text{O} + \text{SO}_3$  zu Kupfervitriol verbindet, so daß gleichsam eine Überführung des Kupfers von der positiven zur negativen Elektrode stattfindet und die Zusammensetzung der Lösung immer unverändert bleibt. — Auf ähnliche Weise können Silber, Gold und andere Metalle aus ihren Lösungen gefällt werden (§ 342).

Unter gewissen Umständen können, anstatt der direkt durch den Strom abgeschiedenen Bestandteile, sekundäre Zersetzungsprodukte als Ionen auftreten. Elektrolysiert man z. B. eine Lösung von neutralem

Fig. 200.



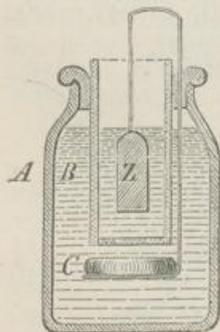
schwefelsauren Natron (Glaubersalz  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), welche in einer U-förmig gebogenen Glasröhre (Fig. 290) enthalten ist, so entwickelt sich an der Anode Sauerstoffgas, an der Kathode Wasserstoffgas. Hat man zuvor die Lösung durch Lackmustinktur violett gefärbt, so wird dieselbe auf der Seite der positiven Elektrode gerötet, auf der der negativen gebläut; die neutrale Lösung ist also am positiven Pol sauer, am negativen alkalisch geworden (§§ 19, 20). An ersterem haben sich nämlich, wie beim vorigen Versuch, Sauerstoff und Schwefelsäure abgeschieden, an letzterem hat das sich ausscheidende Natrium sofort unter Wasserstoffentwicklung das Wasser zerlegt, und das gebildete Natron hat sich in der Flüssigkeit aufgelöst.

Aus einer Lösung von Bleioxyd in Kalilauge scheidet sich am negativen Pol metallisches Blei ab, der am positiven Pol abgeschiedene Sauerstoff aber verbindet sich sofort mit überschüssigem Bleioxyd zu Bleisuperoxyd, welches sich auf der Anode niederschlägt. Wird diese durch ein blank poliertes Metallblech (am besten Neusilber) gebildet, welchem die Kathode in Form eines spitzen Drahtes gegenübersteht, so erfolgt der Niederschlag in einer dünnen, durchsichtigen Schicht, welche von der Mitte nach den Rändern hin an Dicke abnimmt und aus optischen Gründen (§ 180) lebhaftere Farbenringe zeigt, welche die Nobilischen Ringe (1826) genannt werden und die umgekehrte Farbenfolge zeigen wie die Newtonschen Ringe, bei welchen die durchsichtige Schicht von der Mitte nach den Rändern an Dicke zunimmt. — Ähnliche Färbungen können durch Mangansuperoxyd u. s. w. erzeugt werden (Galvanochromie).

§ 342. Galvanoplastik; galvanische Vergoldung und Versilberung. Auf der galvanischen Abscheidung des Kupfers an der negativen Elektrode (§ 341) beruht die von Jacobi (in St. Petersburg 1838) erfundene Galvanoplastik. Der Kupferniederschlag läßt sich nämlich, wenn er langsam und gleichmäßig erfolgt ist, in zusammenhängender Form von der Elektrode, auf welcher er sich gebildet hat, ablösen und giebt deren Gestalt auf das genaueste wieder.

Um eine galvanoplastische Nachbildung einer Münze, Medaille, eines Kunstwerkes u. s. w. zu erhalten, verschafft man sich einen Abdruck oder Abguß des zu kopierenden Gegenstandes in Gips, Wachs, Stearin, Guttapercha, oder einem anderen geeigneten Material, dessen Oberfläche durch einen Überzug von feingeschlammtem Graphit leitend gemacht wird, und benutzt diesen als negative Elektrode. Die Fällung des Kupfers kann entweder in der Kette selbst, oder außer der Kette in einer besonderen Zersetzungszelle geschehen. Im ersteren Fall bedient man sich folgender Vorrichtung. In einem weiten Glasgefäß *A* (Fig. 291) ist eine poröse Thonzelle *B* aufgehängt. Diese enthält verdünnte Schwefelsäure, während der äußere Raum mit gesättigter Kupfervitriollösung gefüllt ist, welcher, um dieselbe stets konzentriert zu erhalten, noch überschüssige Krystalle des Salzes hinzugefügt sind. Die zu kopierende Form *C* ist durch einen mit nichtleitendem Firnis überzogenen Kupferdraht mit dem Zinkblock *Z* in Verbindung gesetzt, welcher in der Thonzelle enthalten ist. Das Ganze stellt also eine galvanische Kette, ähnlich der Daniellschen (§ 311) dar, in welcher der positive Strom vom Zink zur Form *C* übergeht, deren leitenden Überzug das negative Metall vertritt. Auf der Form wird daher Kupfer niederschlagen, während das Zink sich durch den ausgeschiedenen Sauerstoff oxydiert und auflöst.

Fig. 291.



geschlagen, während das Zink sich durch den ausgeschiedenen Sauerstoff oxydiert und auflöst.

Bei Abformung größerer Objekte und namentlich im Fabrikbetrieb ist es vorteilhafter, die Fällung des Kupfers in einer besonderen Zersetzungszelle vorzunehmen, in welcher eine Kupferplatte als Anode, die nachzubildende Form als Kathode dient. In demselben Maße wie das Kupfer an der Kathode ausgefällt

wird, l  
sättigt  
besse

Verg  
von Cy  
fältig  
ein Sil  
Goldch

S

däre

Kette

troden

verbin

Kette

troden

einen

ursprü

ist, al

Dieser

sekun

Strom

Polaris

dafs in

Anode

Sauerst

und da

durch

positi

beiden

Sauerst

sekund

stoff s

Strom

die Wi

Platinp

schiede

Die Po

Daf

den Gas

chemisch

welche

schaft,

Oberfläc

überzog

einen G

sationsst

Gas hat

Ahr

ein. W

verursac

\*) I

und D in

halten. I

wird, löst sich dasselbe an der Anode, so daß die Lösung immer neutral und gesättigt erhalten wird, während man gleichzeitig die Regulierung der Stromstärke besser als bei der Fällung in der Kette in der Gewalt hat.

Ganz analog ist das Verfahren bei der galvanischen Versilberung und Vergoldung. Zur Versilberung bedient man sich am besten einer Auflösung von Cyansilber in Cyankalium, in welche der zu versilbernde, vorher sehr sorgfältig gereinigte Metallgegenstand als Kathode gebracht wird, während als Anode ein Silberblech dient. Zur Vergoldung dient eine Lösung von Cyangold oder Goldchlorid.

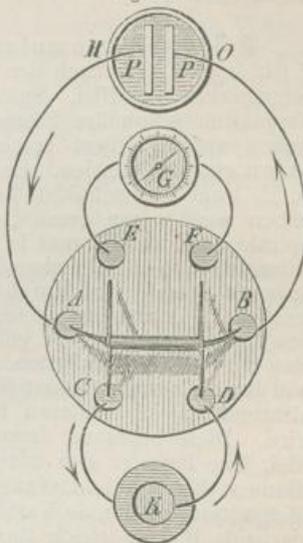
§ 343. Polarisationsstrom. Sekundäre Elemente. Leitet man den Strom einer Kette *K* (Fig. 292) mittelst zweier Platinelektroden *P*, *P* durch verdünnte Schwefelsäure und verbindet man dann, nachdem der Strom der Kette unterbrochen ist, die beiden Platinelektroden mit einem Galvanometer, so zeigt dieses einen Strom an, welcher in der Flüssigkeit dem ursprünglichen Strom entgegengesetzt gerichtet ist, also von der Kathode zur Anode geht\*). Dieser Strom heißt Polarisationsstrom oder sekundärer Strom, während der ursprüngliche Strom der polarisierende genannt wird. Der Polarisationsstrom findet seine Erklärung darin, daß infolge der vorangegangenen Elektrolyse die Anode und Kathode beziehungsweise mit einer Sauerstoff- und Wasserstoffschicht bekleidet sind, und daß das mit Wasserstoff bekleidete Platin durch Berührung mit der Flüssigkeit stärker positiv, das mit Sauerstoff bekleidete stärker negativ erregt wird. Die beiden Platinplatten verhalten sich gegen einander gleichsam wie eine Sauerstoff- und eine Wasserstoffplatte; sie bilden als Stromquelle des sekundären Stromes ein sogenanntes sekundäres Element. Da Wasserstoff sich gegen Sauerstoff elektropositiv verhält, so geht der positive Strom durch die Flüssigkeit vom Wasserstoff zum Sauerstoff. — Da durch die Wirkung des Polarisationsstromes an der mit Sauerstoff bekleideten Platinplatte Wasserstoff und an der Wasserstoffplatte Sauerstoff ausgeschieden wird, so vereinigen sich beide in kurzer Zeit wieder zu Wasser. Die Polarisationsströme sind daher nur von vorübergehender Dauer.

Daß der Grund des Polarisationsstromes in den die Platinplatten bekleidenden Gasschichten liegt, hat Grove nachgewiesen, indem er solche Ströme auf rein chemischem Wege erzeugte. Er brachte Paare von Platinplatten unter Glocken, welche mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt waren. Das Platin besitzt die Eigenschaft, durch Molekularanziehung eine Schicht des umgebenden Gases auf seiner Oberfläche zu verdichten (§ 107). Bringt man dann zwei solche mit H und O überzogene Platten in verdünnte Schwefelsäure, und verbindet man dieselben durch einen Galvanometerdraht, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel einen Polarisationsstrom an. Aus mehreren solchen Plattenpaaren setzte Grove (1843) eine Gashatterie zusammen.

Ähnliche Polarisationserscheinungen treten bei jedem elektrolytischen Prozesse ein. Wird in einen galvanischen Strom eine Zersetzungszelle eingeschaltet, so verursacht diese, außer dem hinzukommenden Leitungswiderstand der Flüssigkeit,

\*) Die Unterbrechung geschieht durch Umlegen der Wippe *AB* aus den Näpfchen *C* und *D* in die Näpfchen *E* und *F*, welche sämtlich zur besseren Leitung Quecksilber enthalten. Der neue Strom geht alsdann durch das Galvanometer in der Richtung *EAPPBF*.

Fig. 292.



auch eine von der Polarisation der Elektroden herrührende, elektromotorische Kraft, welche derjenigen der Kette stets entgegengesetzt gerichtet ist, mithin die Stromintensität vermindert. Ist  $e$  die elektromotorische Kraft der Kette,  $p$  die entgegenwirkende, elektromotorische Kraft der Polarisation,  $w$  der Gesamtwiderstand, so wird die Stromstärke (§ 318)  $i = \frac{e-p}{w}$ . Ist die Polarisation hinreichend, um die ganze elektromotorische Kraft der Kette aufzuheben, so kann kein dauernder Strom zustande kommen. Eine Daniellsche oder Grovesche Zelle genügt daher nicht, um Wasser zu zersetzen, vielmehr sind dazu mindestens zwei Elemente erforderlich.

§ 343a. Accumulatoren. Zur Herstellung eines sekundären Elementes (§ 343) eignet sich nach den Untersuchungen von Planté (1859) von den Metallen vorzugsweise das Blei. Später (bis 1879) ist es demselben Forscher gelungen, aus Bleiplatten sekundäre Elemente herzustellen, in denen die Elektrizität gewissermaßen aufgespeichert erscheint, und welche darum elektrische Accumulatoren genannt werden. Es werden zwei Bleiplatten auf einander gelegt, getrennt durch zwei Kautschukbänder von ungefähr 1 cm Breite und 0,5 cm Dicke; dieselben werden um einen Holzcyliner, der dann wieder beseitigt wird, zu einer Spirale aufgewickelt und in ein cylindrisches Gefäß gestellt, in welches verdünnte Schwefelsäure (1 : 10) eingefüllt wird. Der Anfang der inneren und das Ende der äußeren Spirale sind durch Ansätze von längeren Streifen als Elektroden gekennzeichnet. Vermittelt dieser wird das so vorbereitete sekundäre Element durch den galvanischen Strom geladen. Dabei zersetzt sich die Schwefelsäure und die eine der beiden Bleiplatten, die positive Elektrode, wird vom Sauerstoff angegriffen und in die sehr sauerstoffreiche Verbindung Bleisuperoxyd ( $PbO_2$ ) verwandelt, während an der anderen Platte, der negativen Elektrode, der Wasserstoff frei wird. Diese bekommt demnach eine graue, körnige Oberfläche von schwammigem Blei, jene bedeckt sich mit einem braunen Überzug. Das auf diese Weise geladene Element behält die Ladung mehrere Tage hindurch; setzt man aber die beiden Bleiplatten in leitende Verbindung, so erhält man einen starken sekundären Strom, bis beide Platten gleich stark oxydiert sind.

Platten, welche aus der Säure herausgehoben werden, behalten ihre Kraft auf beliebig lange Dauer. Die Ladung eines Plantéschen Elementes wird wesentlich erleichtert durch ein Verfahren von Faure (1881), der die Bleiplatten, ehe sie aufgerollt werden, erst mit einer Schicht Mennige überzieht. Die Ladung wird alsdann schneller und in größerer Menge aufgenommen.

§ 344. Chemische Vorgänge in der Kette, Theorie der konstanten Ketten. Wie in einer Zersetzungszelle, so findet stets auch in der Kette selbst ein elektrolytischer Prozeß statt. In den nicht konstanten Ketten wird durch die dabei eintretende Polarisation die Stromstärke bald bis auf einen kleinen Bruchteil ihrer ursprünglichen Größe vermindert (§ 309). In der Voltaschen Kupfer-Zinkkette bekleidet sich das Kupfer mit einer Wasserstoffschiicht, während das Zink sich durch den ausgeschiedenen Sauerstoff oxydiert und auflöst. Diese Polarisation des negativen Metalls durch Wasserstoff wird in den konstanten Ketten (§ 311) zum größten Teil vermieden. In der Daniellschen Kette scheidet sich auf dem Kupfer anstelle des Wasserstoffs durch Zerlegung des Kupfervitriols metallisches Kupfer ab (§ 341); bei der Bunsenschen und Groveschen Kette wird die Ausscheidung des Wasserstoffs durch die oxydierende Wirkung der Salpetersäure verhindert, welche dadurch zu salpetriger Säure reduziert wird.

Eine besondere, polarisierende Wirkung übt die konzentrierte Salpetersäure auf das Eisen aus, indem sie dasselbe in den sogenannten passiven Zustand versetzt. Das Eisen bekleidet sich nämlich durch Einwirkung der Säure mit einer unlöslichen Oxydschiicht, wodurch es eine ganz andere Stellung in der Spannungsreihe erhält und sich wie ein stark negatives Metall verhält. Darauf beruht die Wirksamkeit der Zink-Eisen- und Eisen-Eisenkette (vergl. § 311).

Becquerels Säure-Alkalikette besteht aus zwei Platinplatten, von welchen die eine in Salpetersäure, die andere in Kalilösung taucht, und die dadurch entgegengesetzt polarisiert sind.

In jeder geschlossenen Kette findet ein fortdauernder, chemischer Prozess, insbesondere bei den üblichen Ketten eine Oxydation des Zinks und Vereinigung desselben mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd statt. Dieser Zinkverbrauch dient als Arbeitsquelle für alle durch die Kette hervorgebrachten Wirkungen in demselben Sinne, wie der Verbrauch an Brennmaterial für die Dampfmaschine (vergl. § 241). Durch Auflösung eines Kilogramms Zink in Schwefelsäure kann eine gewisse Wärmemenge erzeugt werden. Geschieht die Auflösung in der Kette, so wird dabei der Schließungsdraht der Kette erwärmt, oder es kann durch elektromagnetische Anziehung mechanische Arbeit geleistet werden (§ 323). Umsichtig angestellte Versuche haben nachgewiesen, daß die durch Auflösung des Zinks erzeugte Wärme genau um den Betrag der im Schließungsdraht erzeugten, oder zur Leistung mechanischer Arbeit verbrauchten Wärme vermindert erscheint.

Schaltet man in den Schließungsbogen eine Zersetzungszelle ein, in welcher z. B. Wasser in seine Bestandteile zerlegt wird, so wird zur Zerlegung des Wassers Arbeit verbraucht, welche bei der Wiedervereinigung des Wasserstoffs und Sauerstoffs als Wärme wiedergewonnen werden kann. Dieser Arbeitsverbrauch giebt sich durch die verminderte, elektromotorische Kraft der Kette kund.

In diesem Sinne kann der in der Kette stattfindende chemische Prozess als die Quelle der elektromotorischen Kraft der Kette angesehen werden. Bei der thermoelektrischen Kette (§ 337) dient in gleichem Sinne die Wärme als Quelle der elektromotorischen Kraft, indem an der wärmeren von beiden Lötstellen durch den Strom mehr Wärme verbraucht, als an der kälteren erzeugt wird (§ 338).

#### E. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes und tierische Elektrizität.

345. Der physiologischen Wirkungen elektrischer Ströme ist bereits bei Besprechung der einzelnen Gattungen von Strömen Erwähnung gethan (§§ 273, 283, 290, 304, 309, 332, 334), so daß hier nur noch übrigbleibt, die wesentlichen Ergebnisse zusammenzufassen. Es sind hauptsächlich die Nerven, welche unmittelbar durch den elektrischen Strom gereizt werden, wobei sich die Reizung jedes Nerven in der ihm eigentümlichen Weise äußert, so daß z. B. die Reizung des Sehnerven eine Lichtempfindung, die des Hörnerven eine Schallempfindung, die der Zungennerven einen eigentümlichen Geschmack, die der Hautnerven einen örtlichen Schmerz, die Reizung eines Bewegungsnerven aber eine Zuckung, oder bei schneller Wiederholung eine krampfartige Zusammenziehung des Muskels zur Folge hat, in welchem sich die Fasern des Bewegungsnerven verbreiten.

Wiewohl auch ein konstanter galvanischer Strom von hinreichender Stärke eine Wirkung auf den menschlichen und tierischen Organismus ausübt, die sich hauptsächlich auf die Empfindungsnerven erstreckt, so äußern sich dagegen die Wirkungen auf die Bewegungsnerven hauptsächlich im Augenblick des Entstehens und des Verschwindens

des Stromes, oder bei schnellem Wechsel der Stromstärke. Es sind deshalb die plötzlichen, sehr kurze Zeit andauernden Entladungsströme der Leydener Batterie und die diskontinuierlichen Ströme des Induktionsapparates hauptsächlich zur Erzeugung heftiger Erschütterungen geeignet.

Die elektrische Reizung der Nerven vermag selbst nach dem Tode, namentlich bei kaltblütigen Tieren, noch Muskelzuckungen zu veranlassen, und die Zuckungen des Froschschenkels haben, wie oben (§ 304) gezeigt, die Entdeckung der galvanischen Elektrizität herbeigeführt. Nach der Entdeckung der Voltaschen Säule waren die Versuche von Galvani und Alex. v. Humboldt, die Erregung von Elektrizität im tierischen Organismus nachzuweisen, in Vergessenheit geraten, bis Nobili mit Hilfe des Multiplikators zeigte, daß allerdings in den Muskeln und Nerven des Froschschenkels eine fortdauernde, elektrische Strömung stattfindet. Die Gesetze dieser Strömungen sind in neuerer Zeit, insbesondere von du Bois-Reymond, auf das genaueste erforscht und ihr enger Zusammenhang mit dem Prinzip der Nerventhätigkeit im lebenden Organismus unzweifelhaft nachgewiesen worden. Wir müssen jedoch darauf verzichten, auf dieses dem Zweck des vorliegenden Grundrisses zu fern liegende Gebiet näher einzugehen.

§ 346. Elektrische Fische. Mehrere Gattungen von Fischen besitzen die merkwürdige Fähigkeit, elektrische Schläge hervorzubringen, deren sie sich als Angriffs- und Verteidigungswaffe bedienen. Es sind dies insbesondere der im Mittelmeer vorkommende Zitterrochen (Torpedo narke), der im Nil und Senegal lebende Zitterwels (Malapterurus electricus) und der in den süßen Gewässern des tropischen Amerika einheimische Zitteraal (Gymnotus electricus L.). Dieselben erteilen die elektrischen Schläge willkürlich mittelst eines besonderen, nervenreichen, elektrischen Organs, welches übrigens bei den verschiedenen Gattungen verschiedenen Bau zeigt. Beim Zitteraal erstreckt sich dasselbe fast durch die ganze Länge des Körpers, vom Kopf bis zum Schwanz; beim Zitterrochen liegt es zu beiden Seiten des eiförmigen Körpers und besteht aus zahlreichen, neben einander stehenden, röhrenförmigen Zellen, deren jede eine große Zahl von Querscheidewänden, oder auf einander geschichteten Blättchen enthält. In jedes dieser Blättchen läuft ein Zweig des elektrischen Nerven. Der Entladungsschlag ist dem einer Leydener Flasche vergleichbar, man vermag mittelst desselben Funken, chemische Zersetzungen u. s. w. hervorzubringen. Die Fische vermögen mehrere solche Schläge nach einander in kurzen Zwischenräumen zu erteilen, wobei sich aber ihre Kraft allmählich erschöpft, so daß zur Wiederherstellung derselben eine Ruhezeit erforderlich ist. Die Zitterfische selbst sind gegen die Wirkungen elektrischer Schläge von mässi-ger Stärke unempfindlich.

Ast

§  
sich de  
welche  
scheint  
Himm  
derselb  
fläche  
der H  
ist also  
der du  
durchs  
Unters  
Horiz  
zufällig

Der  
achtung  
stellen  
auf dem  
gegen is  
durch d  
punkt d  
tialeben  
weil geg  
klein zu  
Breite, c  
hin ist c

In  
Gestirne  
sterne