

60 Pfennig

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

othek

. inw.

~~25045~~

chaft
Büntzer.

k. U. J. Zam. 356. 10.000.

14. Band.

Die Elektrizität

von

Prof. Franz Udami
Studienrat.

Zweiter Teil.

Mit 4 farbigen und 8 schwarzen Tafeln,
89 Zeichnungen im Text und einem Gesamtregister.

Zweite Auflage.

Leipzig

Verlag von Philipp Reclam jun.

Teil 1 u. 2 zus. in 1 Band geb. 1 M. 50 Pf.

für 20 Pfennig
überall käuflich

Naturwissenschaftliche Werke aus Reclams
..... Universal-Bibliothek

Alt, Eugen, Der Krieg im Zeitalter der Naturwissenschaften und der Technik. Nr. 5797-99. In Leinen M. 1.—.

Darwin, Charles, Die Abstammung des Menschen u. die Zuchtwahl in geschlechtlicher Beziehung. Deutsch von David Sael. Mit 78 Illustrationen. 2 Bde. Nr. 3216-20 und 3221-25. In Leinen je M. 1.50.

— Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl oder die Erhaltung der bevorzugten Rassen im Kampfe ums Dasein. Nr. 3071-76. In Leinen M. 1.75.

Descartes, Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Wahrheitsforschung. Nr. 3767. In Leinen 60 Pf.

Euler, Leonhard, Vollständige Anleitung zur Algebra. Neue Ausgabe. Nr. 1802-5. In Leinen M. 1.20.

Flammario, Camille, Komet und Erde. Eine astronomische Erzählung. Nr. 5183.

Haeckel, Ernst, Natur und Mensch. Sechs Abschnitte aus seinen Werken. Herausgegeben und mit einer Einleitung versehen von Carl W. Neumann. Mit Bild Haeckels und zahlreichen Abbildungen im Text. Nr. 5404/5. In Leinen 80 Pf., in Leder- oder Halbpergamentband M. 1.80.

Hufeland, Chr. Wilh., Natrobiotik oder Die Kunst, das menschliche Leben zu verlängern. Mit Einleitung und Anmerkungen neu herausgegeben von Dr. med. Paul Dittmar. Nr. 481-84. In Leinen M. 1.20.

von Humboldt, Alexander, Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen des Verfassers. Nr. 1001-05. In Leinen je M. 1.75.

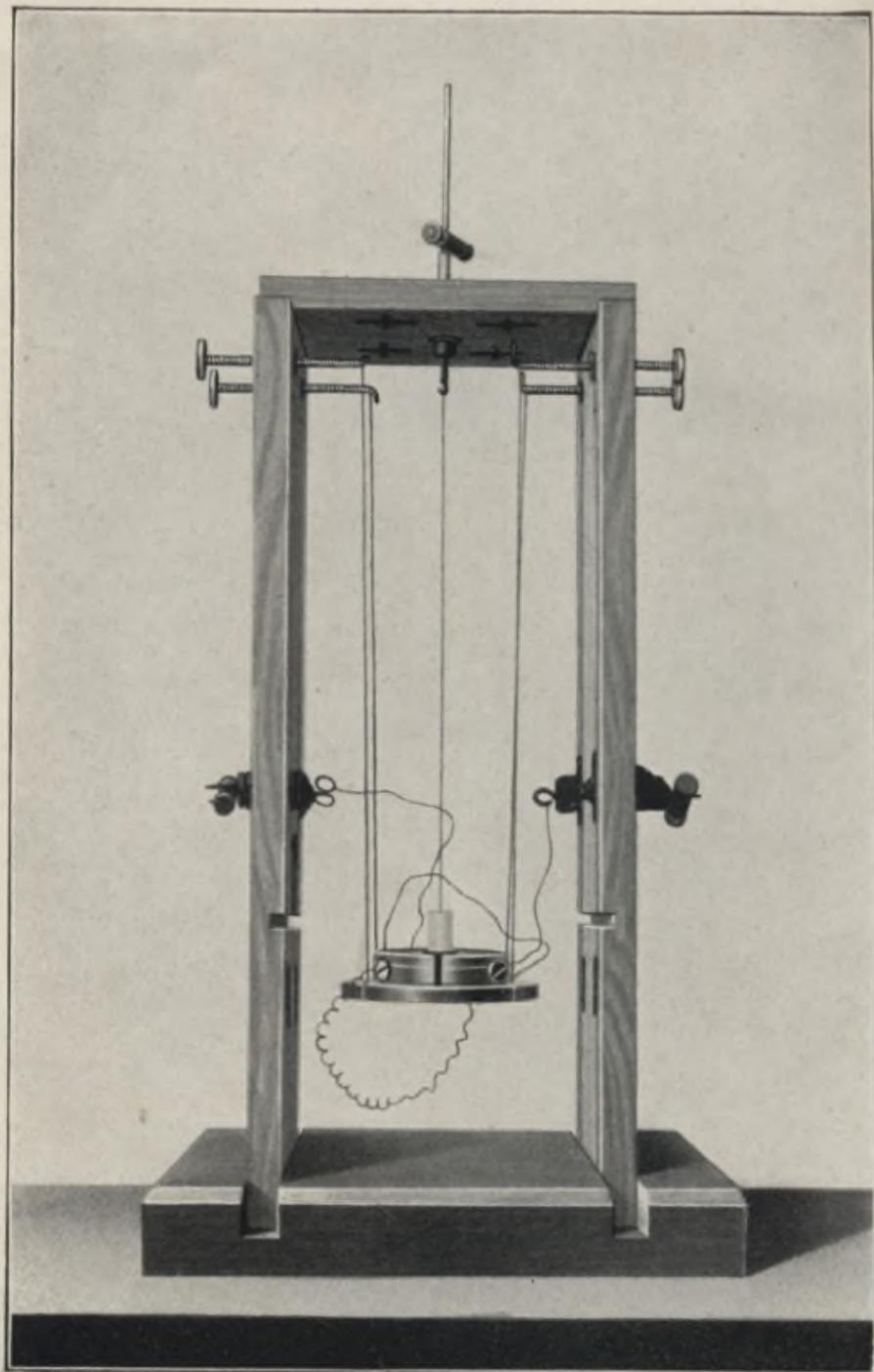
Kant, Immanuel, Kritik der reinen Vernunft. Herausgegeben von der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften. 2 Bände. Nr. 1006-07. In Leinen je M. 1.75.

Lange, Hermann, Die Grundlagen des Historischen Materialismus. Herausgegeben von der Redaktion der Zeitschrift für Sozialwissenschaft. Mit Bild Langes. Nr. 1008-09. In Leinen je M. 1.75.

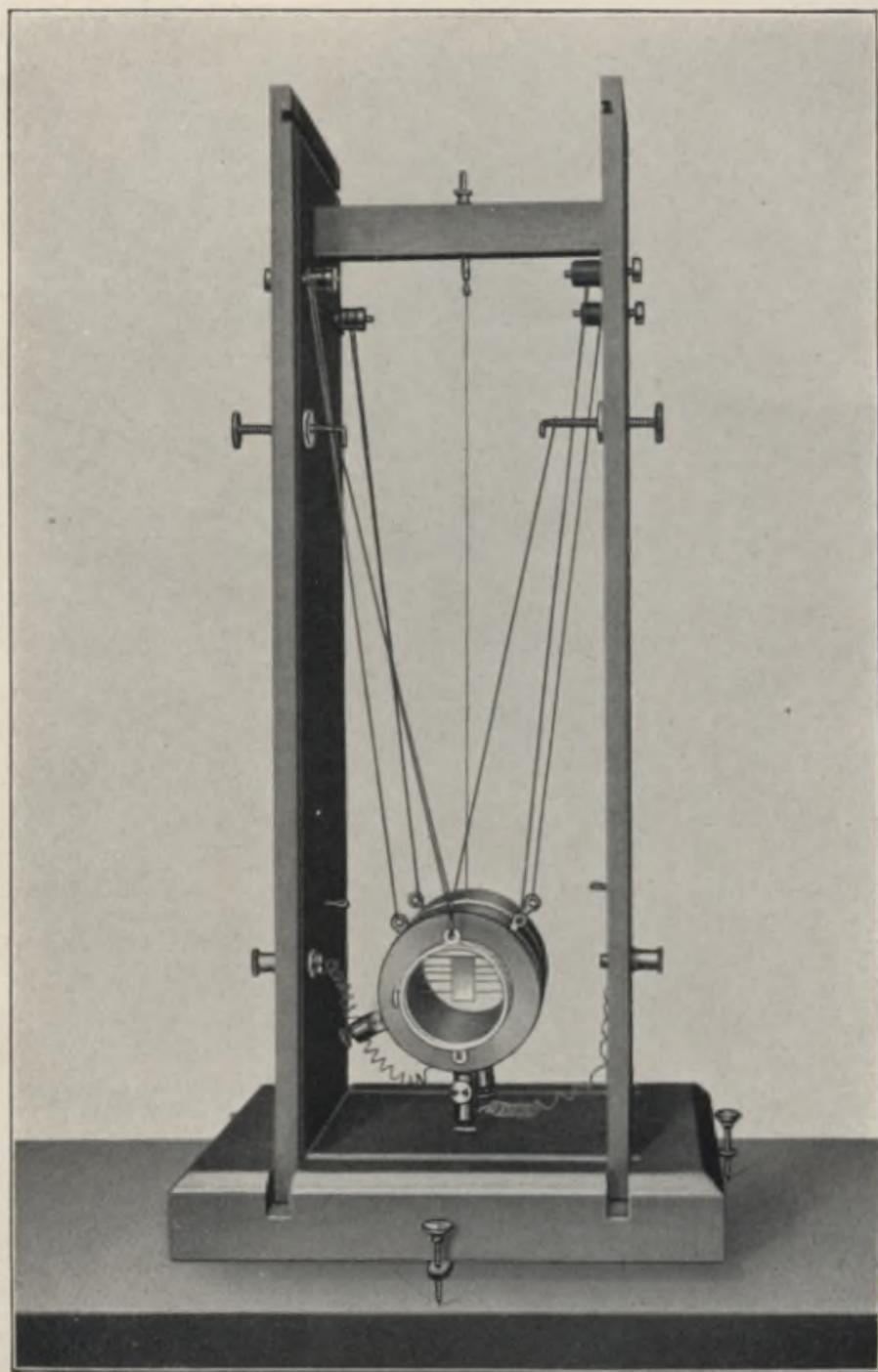
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297140



Quadrantelektrometer.

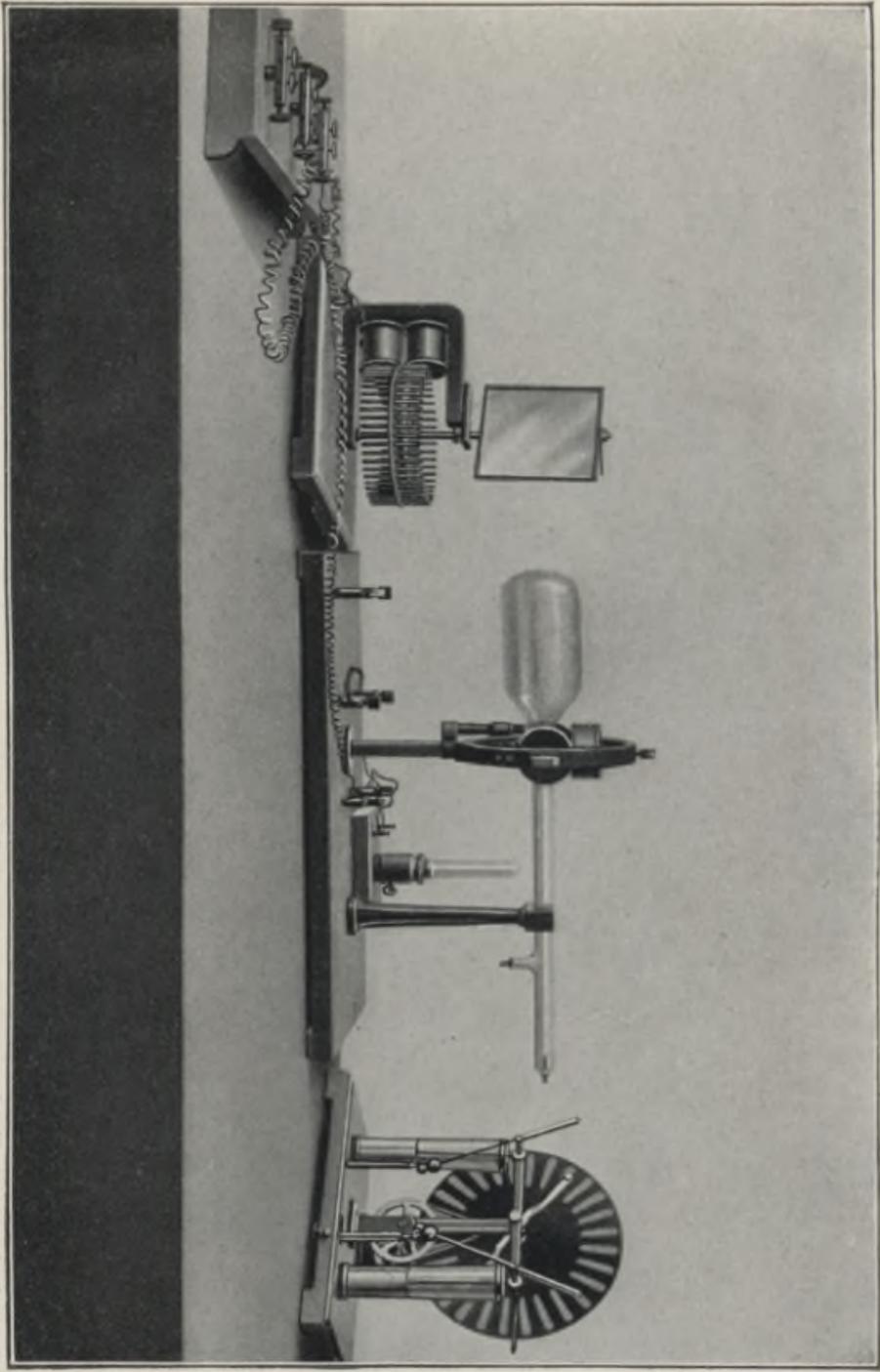


Projektionsgalvanometer.

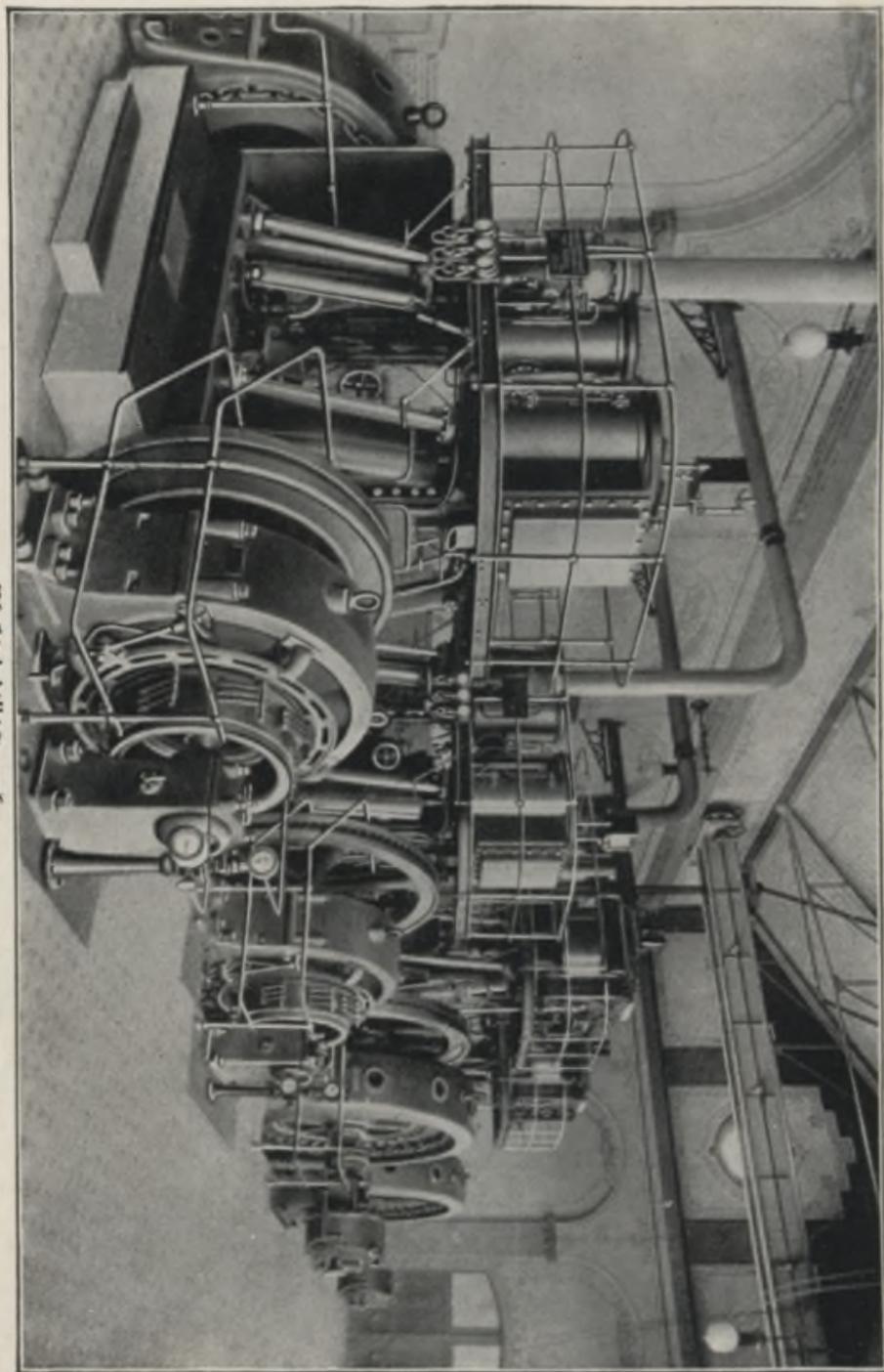
Spindromotor.

Braunfche Röhre.

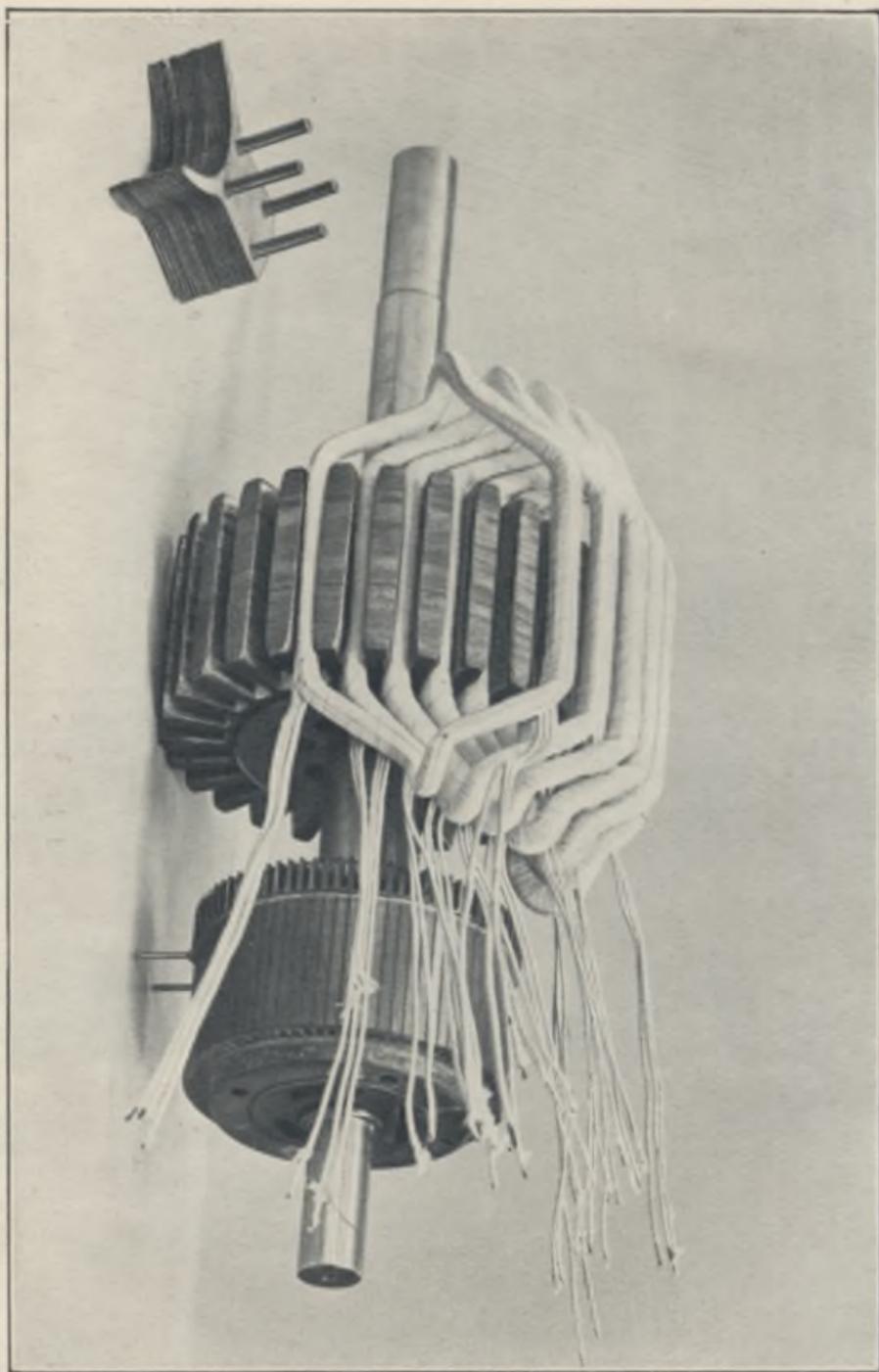
Influenzmaschine.



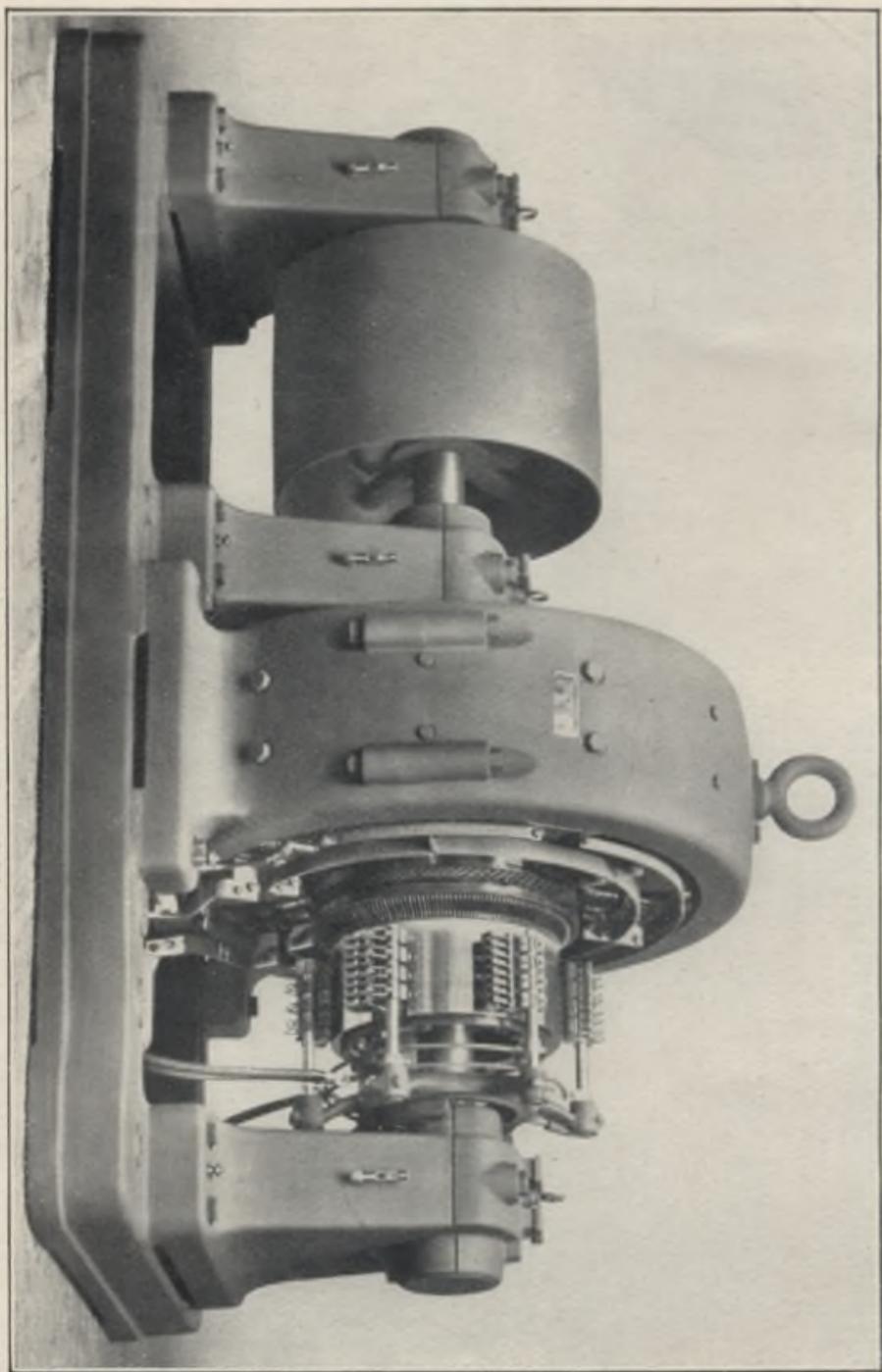
Elektrizitätswerk.

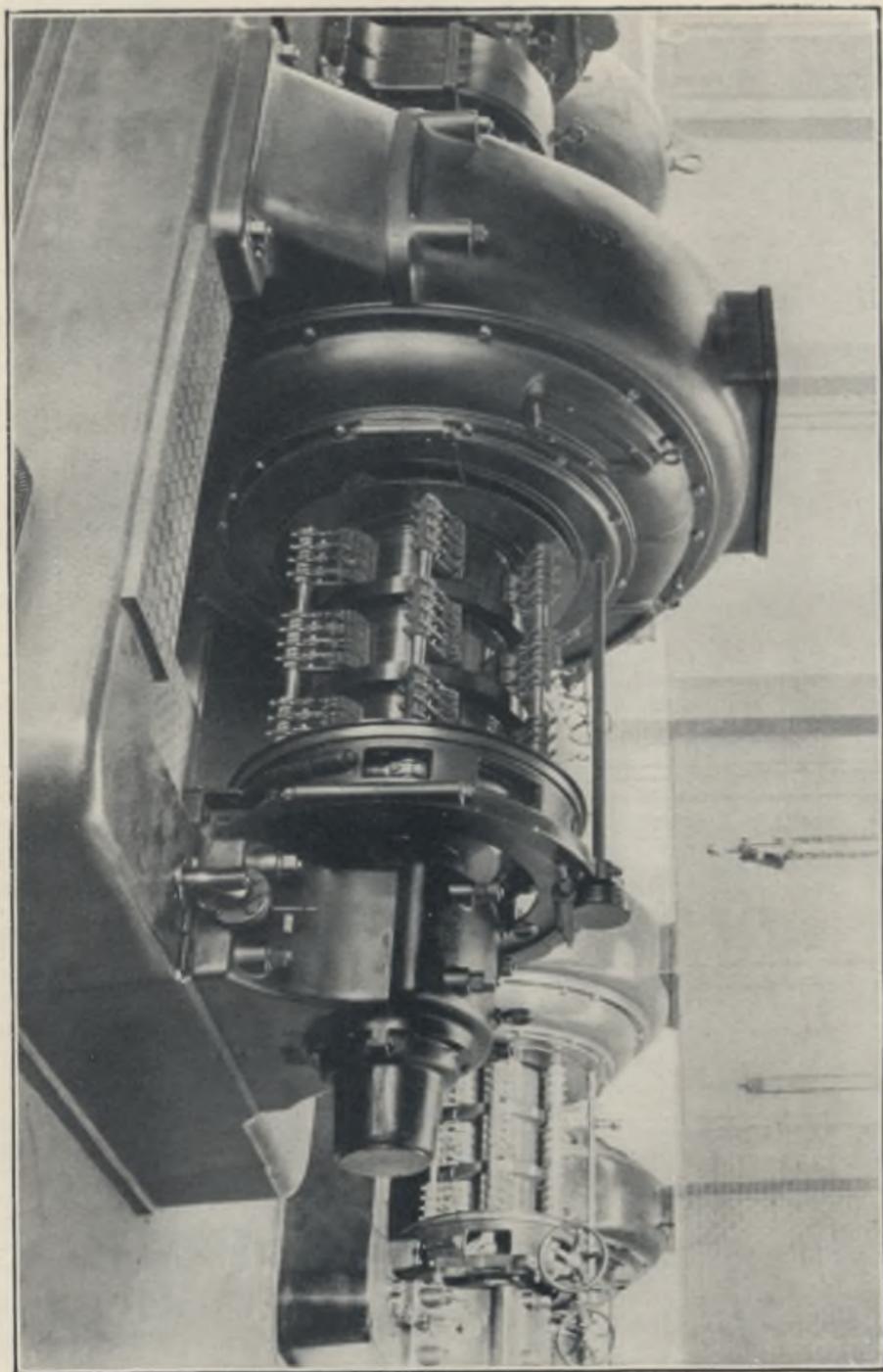


Strommelanker und Schenkelflechte zu dem Polgehäuse auf Tafel V.

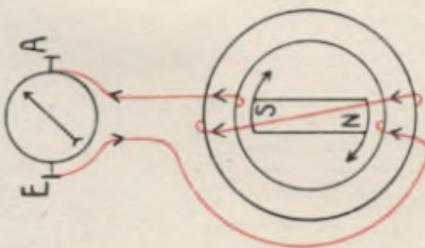


Stromstrom-Nebeufschlafmaschine.

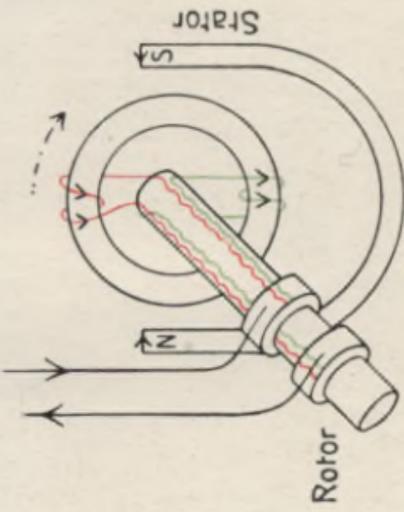
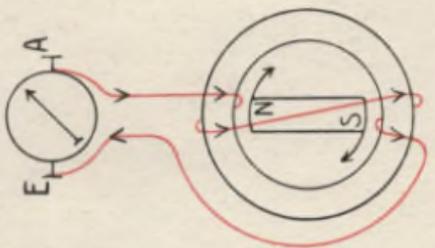




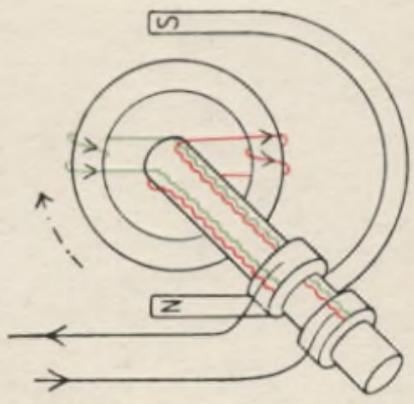
Turbo-Generator.



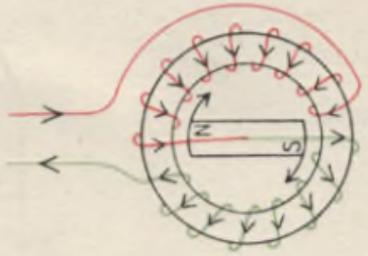
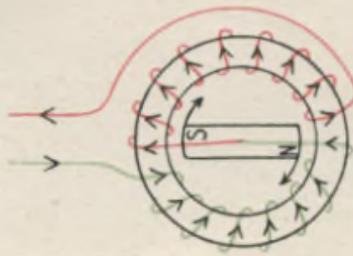
1. Modell.



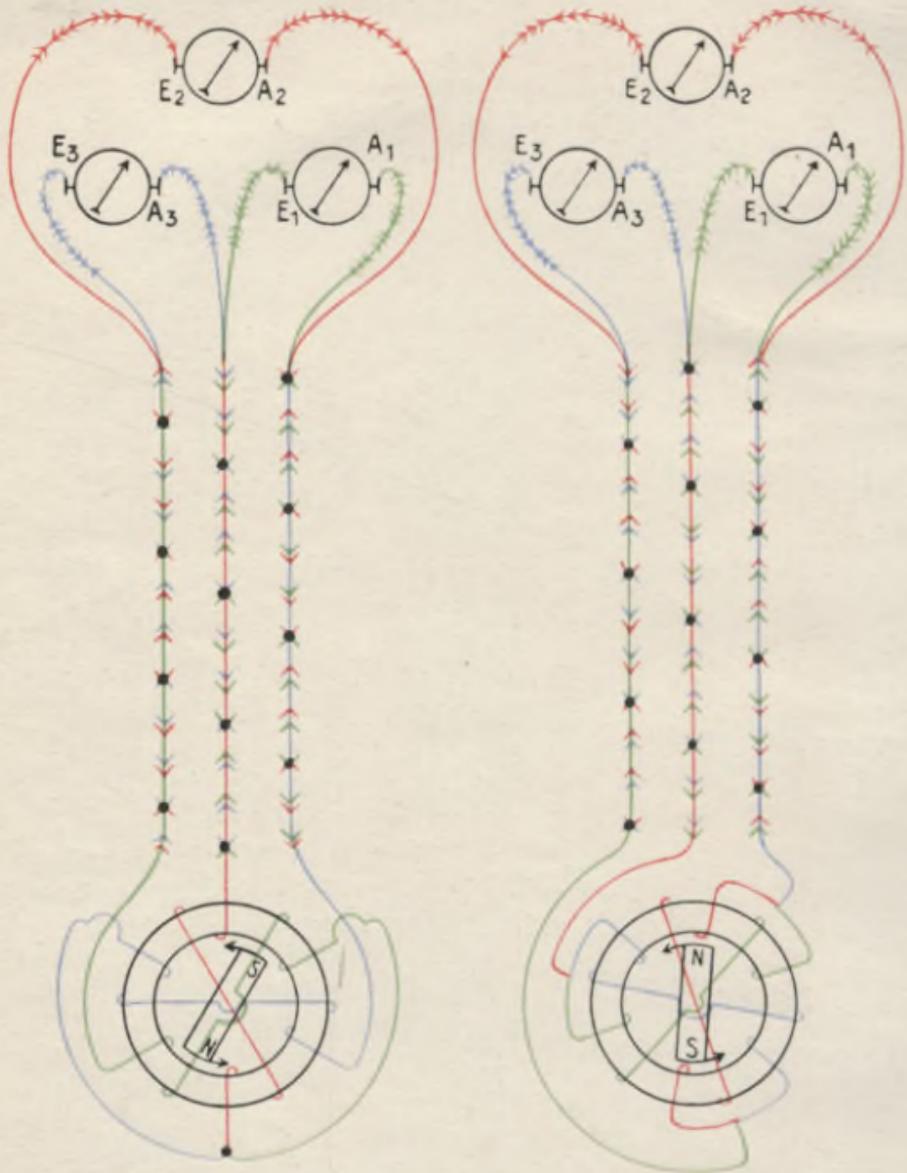
2. Modell.



3. Modell.



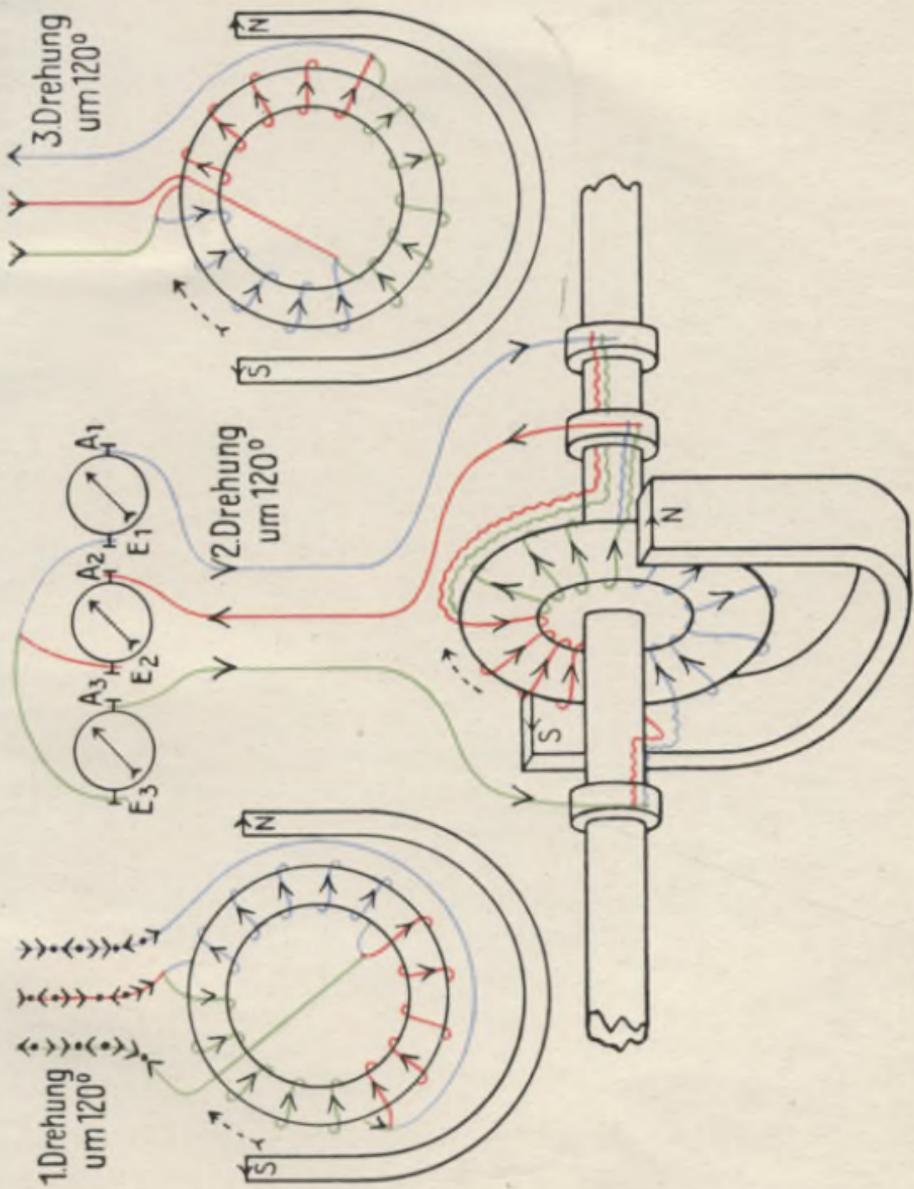
Einphasenstrom. Die Drehung beträgt jedesmal 180° .



Generator=Sternschaltung.
Galvanometer=Dreieckschaltung.

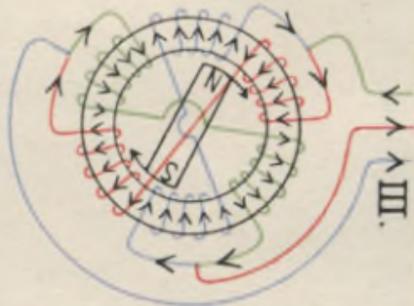
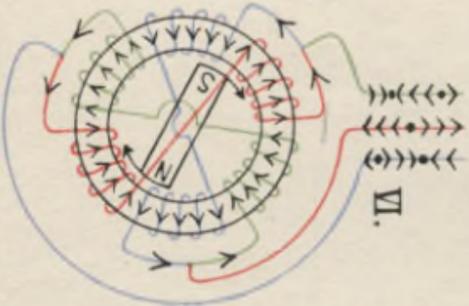
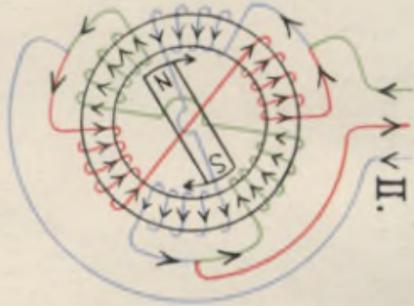
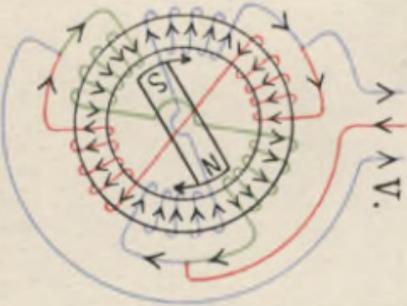
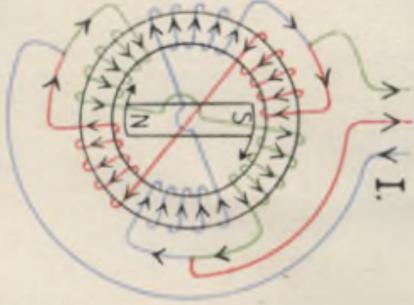
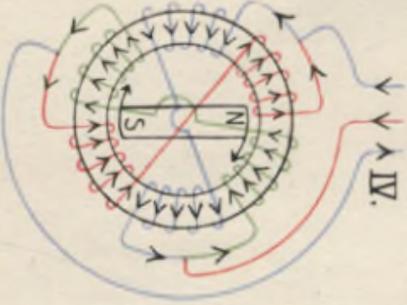
Generator=Dreieckschaltung.
Galvanometer=Dreieckschaltung.

Darstellung der Entstehung des Drehstroms.



Drehstrom-Modell.

Schematische Darstellung des Drehstroms.



Bücher
der Naturwissenschaft

herausgegeben von
Prof. Dr. Siegmund Günther.

14. Band.

Die Elektrizität

von

Prof. Franz Adami
Studienrat.

Zweiter Teil.

Mit 4 farbigen und 8 schwarzen Tafeln, 89 Zeichnungen im Text
und einem Gesamtregister.

Zweite Auflage.

Leipzig

Druck und Verlag von Philipp Reclam jun.

243



~~I 25045~~



I-301743

~~BPK - 0 - 244 / 2017~~

Akc. Nr.

~~2895~~ 51

Die Elektrizität.

Inhalt des 2. Theiles.

	Seite
III. Berührungselektrizität oder Galvanismus	5
1. Fundamentalversuche und Folgerungen daraus. (Quadrantelektrometer und galvanische Elemente)	5
2. Wirkungen der Elektrizität in der Strombahn. (Wärmewirkungen; konstante Elemente; chemische Wirkungen; Theorie des Akkumulators; physiologische Wirkungen)	17
3. Wirkungen der Elektrizität außerhalb der Strombahn. (Ablenkung einer Deklinationsnadel; Ablenkung einer Inklinationsnadel; Galvanometer)	27
4. Elektromagnetismus (Reeffer'scher Hammer; elektrische Klingel; elektrische Telegraphie)	33
5. Elektrodynamische Wirkungen (Parallele und gekreuzte Ströme; Solenoid; Ampères Theorie des Magnetismus; Wirkung eines Magneten auf einen beweglichen Stromleiter; Wirkung des elektrischen Stromes auf einen beweglichen Magnetpol; Drehspulgalvanometer; Motor von Page)	36
6. Elektrische Maßeinheiten. (Ohmsches Gesetz; Ampère; Ohm; Volt; Coulomb; Watt; spezifischer Widerstand; spezifische Leitungsfähigkeit; Messung des Widerstandes; Ampèremeter; Knallgasvoltameter; Stromschlüssel; Klemmenspannung; Voltmeter; Kirchhoffsche Gesetze; Stromverzweigung; Wheatstone'sche Brücke; Maximum der Stromstärke; Bolometer; Widerstand von Flüssigkeiten)	47
IV. Erregung der Elektrizität durch Wärme und Druck. (Beltiersche Wirkung; Thermo-elektrizität; Thermo-elektrische Spannungsreihe; Elektrizitäts-erzeugung durch Sonnenbestrahlung; Piezo-elektrizität des Quarzes; Pyro-elektrizität)	70
V. Induktionsercheinungen	73
1. Elektroinduktion. (Fundamentalversuch; Induktionsapparat; Extraströme; Selbstinduktion; Henry;	

	Funkeninduktor; Schlagweite; Wehnelt- und Lochunterbrecher; Röntgenstrahlen; Unipuls)	73
2.	Elektrische Schwingungen. (Gedämpfte und ungedämpfte Schwingungen; Dauer einer Funkenentladung; Resonanz; Schwingungskreis; Teslaströme; Teslastransformator; Skineffekt; Versuche von Herz; Kohärer oder Fritter; elektrische Wellen; Lecher'sche Drähte; Messung der Länge elektrischer Wellen)	90
3.	Magnetinduktion. (Fundamentalversuch; Maxwellsche Regel; Telephon; Wirbelströme; Rotationsmagnetismus; Faradaysche Scheibe; Wirkung der Wirbelströme)	104
VI.	Induktionsströme	115
1.	Die Entstehung und der Verlauf des Gleichstromes	115
2.	Die Entstehung und der Verlauf des Wechselstromes. (Ein- und Zweiphasenstrom)	119
3.	Die Entstehung und der Verlauf des Drehstromes. (Stern- und Dreieckschaltung; synchrone und asynchrone Rotation)	122
4.	Eigenschaften der Wechselströme. (Sinuslinie; Spannung und Stromstärke eines Wechselstromes; Phasenverschiebung; Effekt eines Wechselstromes; Wattloser Wechselstrom; optische Darstellung eines Wechselstromes mittels der Braunschen Röhre und des Oszillographen; Frequenzmesser)	127
VII.	Elektrische Maschinen. (Elektromagnetische, magnet-elektrische und Dynamomaschinen; dynamoelektrisches Prinzip)	143
1.	Gleichstrommaschinen. (Unipolar Scheiben-Maschine; Anfertigung einer Dynamomaschine; Trommelwicklung; Hauptstrommaschine; Nebenschlußmaschine; Doppelschluß- oder Compoundmaschine)	148
2.	Wechselstrommaschinen. (Drehstrommaschinen; Wattmeter; Beschreibung eines Elektrizitätswerkes; Zweileitersystem; Dreileitersystem; Spannungsteiler; Vierleitersystem)	158
	Namen- und Sachregister zu Elektrizität I. und II.	166

III. Berührungselektrizität oder Galvanismus.*)

1. Fundamentalversuche und Folgerungen daraus.

Elektrizität kann außer durch Reibung und Influenz noch auf verschiedene Arten in die Erscheinung treten. Volta hat 1793 gezeigt: wenn zwei verschiedene, eben geschliffene, isolierte Metallplatten zur gegenseitigen Berührung gebracht werden, wird die eine Metallplatte +, die andere – elektrisch. Trennt man diese beiden Ladungen, so kann man jede derselben mit dem Säulen- oder Blattelektroskop nachweisen, obwohl das Blattelektroskop erst bei einer ziemlich hohen Spannung einen untrüglichen Aufschluß über den elektrischen Zustand gibt (Elektrizität 1. Teil, S. 46 f.).

Zur Erklärung dieser Tatsache nimmt man an, daß sich sowohl auf der einen als auch auf der andern Metallplatte gleiche Mengen + und – Elektrizität befinden. Wird das eine Metall mit dem andern in Berührung gebracht, so tritt zwischen den beiden Metallen eine Kraft auf, die elektrische Scheidungskraft oder elektromotorische Kraft genannt wird. Diese Kraft trennt die beiden ursprünglich vereinigten Elektrizitäten und treibt die + Elektrizität auf die eine

*) S. Günther, Geschichte der Naturwissenschaften. Bücher der Naturwissenschaft. Bd. 3, S. 155.

und die — Elektrizität auf die andere Metallplatte, so daß zwischen den beiden Metallen stets der gleiche Spannungsunterschied aufrechterhalten wird. Ist z. B. auf der einen Metallplatte Elektrizität von der Spannung $+V$, auf der andern Elektrizität von der Spannung $-V$ vorhanden, so beträgt der Spannungsunterschied $+V - (-V) = 2V$. Man bezeichnet den Spannungsunterschied zwischen zwei Metallen oder zwischen Metallen und Flüssigkeiten in der Weise, daß man zwischen den Namen der zwei Körper einen vertikalen Strich anbringt. So bedeutet z. B. Zink|Kupfer den elektrischen Spannungsunterschied zwischen Zink und Kupfer, und zwar hat immer das zuerst genannte Metall, also hier das Zink, ein höheres Potential als das zuletzt genannte, in unserem Falle das Kupfer. Wird das Kupfer mit der Erde in leitende Verbindung gebracht, wodurch die Spannung des Kupfers auf Null sinkt, so hat das Zink die Spannung $+2V$. Leitet man aber die Elektrizität des Zinks zur Erde ab, so erhält die Kupferplatte die Spannung $-2V$.

Es ist auch bereits Volta gelungen, die Metalle in eine Reihe — eine sogenannte Spannungsreihe — zu bringen (vergl. Elektrizität I. S. 21). Von den in dieser Spannungsreihe aufgeführten Metallen wird jedes voranstehende mit jedem einzelnen nachfolgenden Metall berührt + und jedes nachfolgende mit jedem einzelnen vorausgehenden Metall berührt — elektrisch. Auch ist der Spannungsunterschied oder die Potentialdifferenz um so größer, je weiter die beiden Metalle in der Spannungsreihe auseinanderstehen. Schichtet man mehrere Metall-

platten übereinander, so ist der Spannungsunterschied zwischen der ersten und letzten Platte so groß, wie wenn sich die beiden Platten unmittelbar berührten. Es ist also z. B. Magnesium | Zink = Magnesium | Kupfer + Kupfer | Gold + Gold | Eisen + Eisen | Zink.

Eine solche Spannungsreihe ist: Magnesium, Magnesium, Aluminium, Zink, Mangan, Blei, Zinn, Nickel, Bleisuperoxyd, Kobalt, Wismut, Chrom, Antimon, Eisen, Kupfer, Gold, Silber, Platin, Kohle. Doch stimmen die von den verschiedenen Forschern angegebenen Spannungsreihen vielfach nicht miteinander überein, da es bis jetzt noch nicht gelungen ist, chemisch reine Metalle herzustellen; auch ist es sehr schwierig, auf den Metallen stets die gleichen Oberflächen hervorzubringen.

Volta erkannte auch, daß sich die Flüssigkeiten nicht in eine Spannungsreihe einordnen lassen, und nannte sie deshalb Leiter zweiter Klasse, während er die Metalle als Leiter erster Klasse bezeichnete. Zu den Leitern erster Klasse gehört auch der Bleiglanz und der Schwefelkies oder Eisenkies (Bugge, Chemie und Technik, Büch. d. Naturw. Bd. 11, S. 25 und 8), sowie Bleisuperoxyd.

Ebenso rührt schon von Volta die Entdeckung her, daß, wenn man zwei verschiedene Metalle durch eine angesäuerte Flüssigkeitsschicht trennt, eine Spannungsdifferenz an den beiden Metallen entsteht. Um die Wirkung zu verstärken, schichtete Volta Kupfer- und Zinkplatten und mit Säure angefeuchtete Luchscheiben übereinander in der Reihenfolge: Zink, Kupfer, Feuchtig-

keit, Zink, Kupfer, Feuchtigkeit usw. Dieser Aufbau ist als Voltasche Säule bekannt. Man erhält an den Enden der Säule Elektrizität von ziemlich hoher Spannung, was sich mit dem Blattelektroskop zeigen läßt. Werden die Metallplatten und die Tuchscheiben in der angegebenen Reihenfolge aufeinander geschichtet, so daß die Säule oben mit einer Kupferplatte endigt, so befindet sich an der Kupferplatte + und an der untersten Zinkplatte - Elektrizität. Die beiden Enden der Säule werden Pole genannt, und zwar heißt der Pol an der Kupferplatte der + Pol, der Pol an der Zinkplatte der - Pol. Läßt man die oberste Kupferplatte weg, so ist jetzt die oberste Zinkplatte der positive Pol, aber die Spannung ist etwas kleiner geworden.

Die Voltasche Säule besitzt wegen ihrer Unbequemlichkeit nur noch historisches Interesse. Dagegen haben sich bis heute andere elektrische Säulen erhalten, die auf dem Prinzip der Voltaschen Säule beruhen. Eine solche Säule ist die von Gamboni (Günther II. S. 156) 1812 konstruierte und nach ihm benannte Gambonische Säule. Sie wird in der Weise angefertigt, daß man einen Bogen Goldpapier und einen Bogen Silberpapier mit ihren nicht metallischen Seiten aufeinanderklebt und dann freisrunde Scheiben ausstanzt. Die Scheiben werden so aufeinandergeschichtet, daß entweder alle Gold- oder alle Silberseiten nach oben schauen, wodurch eine Säule entsteht. Man kann dann die Säule in ein Glasrohr einbauen, das an jedem Ende mit einer Metallkappe verschlossen wird. Durch die Klappen sind Klemmschrauben eingeschraubt, mit denen

die einzelnen Scheiben aufeinandergepreßt werden. Man kann auch jede einzelne Scheibe in der Mitte durchbohren und die Scheiben über einen Hartgummistab schieben, an dessen Enden die Scheiben durch Metallplatten zusammengepreßt werden. Das unechte Gold — in Wirklichkeit Kupfer — und das unechte Silber — in Wirklichkeit Zink oder Aluminium — ersetzen die beiden verschiedenen Metalle der Voltaschen Säule und die dem Papier stets anhaftende Feuchtigkeit die mit Säure getränkten Tuchscheiben. Bei der von *Nernst* (*Günther* II. S. 162) 1898 angegebenen sogenannten *Nernst*säule ist das Kupfer durch Bleisuperoxyd ersetzt, das auf die nicht metallische Seite des Aluminiumpapiers aufgetragen und eingerieben wird. Die Wirkung einer *Nernst*säule ist wesentlich größer als die einer *Zambonisäule*. Eine *Zambonisäule* von etwa 40 cm Länge liefert eine Spannungsdifferenz an den beiden Polen von ungefähr 600 Volt, eine *Nernst*säule von gleicher Größe dagegen von 3000 Volt. Sowohl die *Zamboni*- wie die *Nernst*säule sind auch unter dem Namen *Trockensäulen* bekannt.

Solche zwei *Nernst*säulen befinden sich in dem Säulenelektroskop und zwar sind die Säulen durch den in der Abbildung (Elektrizität I. Taf. I) oben sichtbaren Draht so verbunden, daß in dem unteren Ende der rechten Säule — Elektrizität und in dem unteren Ende der linken Säule + Elektrizität vorhanden ist. Nähert man nun dem zwischen den beiden Säulen oberhalb befindlichen Knopf z. B. einen + elektrischen Körper, so entsteht in dem unteren Ende des Aluminiumstreifens durch *Influenz* + Elektrizität. Deshalb wird der Aluminium-

streifen von der + Elektrizität des unteren Endes der linken Säule abgestoßen und von der – Elektrizität des unteren Endes der rechten Säule angezogen, so daß er sich nach rechts bewegt. Daß bei Annäherung eines – elektrischen Körpers an den Knopf zwischen den beiden Säulen der Vorgang ein analoger ist, nur mit umgekehrtem Vorzeichen der Elektrizität, ist selbstverständlich.

Schon Volta erkannte das Unpraktische seiner Säule und ersetzte sie deshalb durch Gläser, die er mit verdünnter Schwefelsäure füllte, in die er eine Zink- und

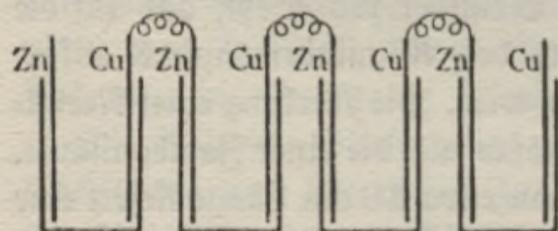


Fig. 1.

eine Kupferplatte brachte, so daß sich die Platten nicht berührten. Eine solche Vorrichtung wird galvanisches

Element genannt

und mehrere solche Elemente irgendwie verbunden, heißen eine galvanische Batterie. In Fig. 1 ist eine solche Batterie aus 4 Elementen schematisch dargestellt. Jedes Zink ist mit dem nächstfolgenden Kupfer des anderen Glases durch einen Draht verbunden und die einzelnen Elemente sind „hintereinander“ oder in „Serie“ geschaltet. Das erste Kupfer heißt der positive, das letzte Zink der negative Pol der Batterie. Sowohl die Kupfer- als die Zinkplatte führen auch den gemeinschaftlichen Namen Elektroden.

Zum Nachweis der in einem galvanischen Element herrschenden Spannungsdifferenzen bedarf es genauer

Messinstrumente. Daß von Thomson (Günther II. S. 120) angegebene Quadrantelektrometer gibt nähere Aufschlüsse über die Vorgänge in einem galvanischen Element. Eine Quadrantelektrometer (Tafel I) kann in folgender Weise hergestellt werden. Man nimmt eine Salbenschachtel von 5 cm Durchmesser und 7 bis 8 mm Höhe, lötet den Deckel auf der Schachtel fest, bohrt in der Mitte ein Loch von 15 bis 20 mm Durchmesser und sägt dann

die Schachtel nach zwei aufeinander senkrecht stehenden Durchmessern durch.

Der Grundriß der Schachtel erhält dann die in Fig. 2 gezeichnete Form, in der man die vier Quadranten erkennt. Daher rührt auch der Name Qua-

drantelektrometer.

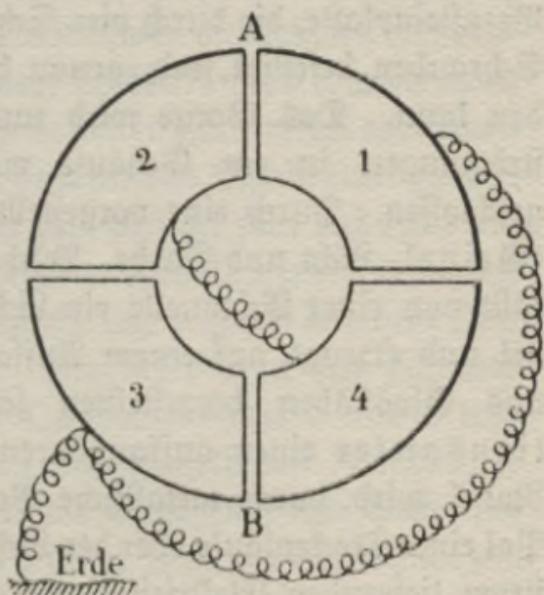


Fig. 2.

Aus ganz dünnem Magnaliumblech (Bugge, Chemie und Technik, S. 52), oder doppelt aufeinander geklebtem Gold- oder Silberpapier schneidet man sich eine 8 oder T-förmige Figur, die den Namen Nadel führt, klebt senkrecht zur Ebene der Nadel genau in der Mitte einen Spiegel auf und hängt dann die Nadel samt dem Spiegel an einen leitend gemachten Kokon- oder Quarzfaden. In Tafel I ist der Spiegel und der Kokonfaden deutlich

erkennbar. Die Quadranten 1 und 3 sind durch einen dünnen Draht miteinander in leitende Verbindung gebracht, ebenso die Quadranten 2 und 4. Die Nadel schwebt im Innern der vier Quadranten genau in der Mitte vollständig frei und ist so aufgehängt, daß ihre Längsachse mit dem Durchmesser AB zusammenfällt. In Tafel I sind nur die Quadranten 3 und 4 erkennbar. Die Quadranten ruhen auf einer Bernsteinplatte, die durch vier Schnüre, an denen oben Schrauben befestigt sind, genau horizontal gestellt werden kann. Das Ganze wird zum Schutz gegen Luftströmungen in ein Gehäuse mit Glasfenstern eingeschlossen. Durch eine vorgestellte Vergrößerungslinse (Geigel, Licht und Farbe. Büch. d. N. Bd. 5, S. 37) fällt von einer Lichtquelle ein Lichtstrahl auf den Spiegel und erzeugt auf einem Auffangschirm oder einem aus Glasstäben hergestellten sogenannten Projektionsgitter einen auffangbaren hellen Lichtfleck. Die Nadel wird durch metallische Verbindung mit einem Pol einer Trockensäule oder der Lichtleitung eines Gleichstrom liefernden Elektrizitätswerkes auf ein hohes Potential gebracht, die Quadranten 1 und 3 werden durch einen an der linken Klemmschraube angebrachten Draht zur Erde abgeleitet und an das Quadrantenpaar 2 und 4 wird durch einen möglichst dünnen Metalldraht, der mit der rechten Klemmschraube in leitender Verbindung ist, die zu untersuchende Spannung angelegt.

Die Wirkung des Quadrantenelektrometers ergibt sich aus nachstehender Betrachtung. Die Nadel enthält eine bestimmte Elektrizitätsmenge und daher auch

eine bestimmte Spannung z. B. + 100 Volt. Wird nun dem Quadrantenpaar 2 und 4 negative Elektrizität mitgeteilt, so übt diese negative Elektrizität eine Anziehung auf die + Elektrizität der Nadel aus und die Nadel bewegt sich in die Quadranten 2 und 4 hinein. Erhält das Quadrantenpaar 2 und 4 + Elektrizität, so wird die Nadel abgestoßen, bewegt sich aus dem Quadrantenpaar 2 und 4 heraus und in das Quadrantenpaar 1 und 3 hinein. Doch ist wegen der von den Quadranten ausgeübten Kondensatorwirkung der Vorgang in Wirklichkeit komplizierter.

Verbindet man einen isolierten Zinkstreifen oder einen isolierten Zinkdraht mit dem an das Quadrantenpaar 2 und 4 angelegten Draht und berührt nun das Zink mit einem isolierten Kupferstreifen oder Kupferdraht, so zeigt der Ausschlag des Lichtflecks an, daß sich auf dem Zink + Elektrizität befindet. Verbindet man ein isoliertes Stück Kupfer mit dem Quadrantenpaar 2 und 4 und berührt das Kupfer mit einem isolierten Zinkstück, so schlägt der Lichtfleck auf die entgegengesetzte Seite aus und zeigt also für das Kupfer negative Elektrizität an. Die Ablenkung des Lichtflecks wird größer, wenn man das Metallstück, das nicht mit dem Quadrantenelektrometer verbunden ist, nicht isoliert, sondern direkt mit der Hand an das andere Metall hält. Legt man auf einen mit dem Quadrantenelektrometer verbundenen isolierten Kupferstreifen ein mit Schwefelsäure getränktes Filtrierpapier und auf dieses ein zur Erde abgeleitetes Zinkblech, so erweist sich das Kupfer + elektrisch. Kehrt man dieses einfache Element um, so ist der Zinkstreifen negativ elektrisch. Taucht man einen Zinkstreifen in verdünnte

Schwefelsäure und verbindet das in der Luft befindliche Ende des Zinkstreifens mit dem Quadrantelektrometer, so erweist sich Zink gleichfalls negativ elektrisch. Kupfer oder Kohle in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, werden positiv elektrisch und zwar, wie sich aus der Größe des Ausschlags am Quadrantelektrometer ergibt, die Kohle stärker als das Kupfer. Eisen und Zink wird sowohl in Schwefelsäure als in Natronlauge negativ elektrisch, Platin, Silber, Kupfer und Kohle dagegen positiv. Blei wird in Natronlauge*) negativ, in Schwefelsäure positiv elektrisch, Aluminium dagegen in Natronlauge positiv und in Schwefelsäure negativ elektrisch. Eisen, Nickel und Platin in Quecksilber eingetaucht zeigen negative Elektrizität. Eine besondere Eigentümlichkeit zeigt Eisen, daß in verdünnter Salpetersäure, von der es stark angegriffen und aufgelöst wird, negative Elektrizität erhält. Bringt man Eisen aber in rauchende Salpetersäure, so wird es stark positiv elektrisch und von der rauchenden Salpetersäure nicht angegriffen. Man erklärt diese Erscheinung, die als Passivität des Eisens bezeichnet wird, durch die Annahme, daß sich beim Eintauchen des Eisens in rauchende Salpetersäure auf dem Eisen eine Drydschicht bildet, die der Salpetersäure einen weiteren Angriff auf das Eisen verwehrt. Diese Ansicht wurde von verschiedenen Forschern als unrichtig erklärt, findet jedoch in neuester Zeit wieder Vertreter (Thomson, Lehrb. d. Physik, Bd. IV. S. 668 f.).

Mit einem geeichten Quadrantelektrometer findet

*) Bugge, Chemie u. Technik. Büch. d. Naturw. Bd. 11, S. 87f.

man, daß Kupfer ein um 0,515 Volt höheres Potential besitzt als die Schwefelsäure und die Schwefelsäure ein um 0,524 Volt höheres Potential als das Zink. Deshalb muß das Kupfer ein um $0,515 + 0,524 = 1,039$ Volt höheres Potential besitzen als das Zink, wenn beide Metalle gleichzeitig in Schwefelsäure eingetaucht werden. Deshalb fließt ein elektrischer Strom vom Kupfer zum Zink, wenn beide durch einen Leitungsdraht verbunden werden (Elektrizität 1. Teil, S. 35). Im Innern eines Elementes wird daher der Strom vom Zink zum Kupfer verlaufen (s. S. 28 u. 29). Man bemerke die Umkehrung des elektrischen Zustandes bei Zink und Kupfer, wenn beide in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht sind, gegenüber dem Versuch, wenn das Zink mit dem Kupfer in der Luft zur Berührung gebracht wird.

Für den Potentialunterschied ist es gleichgültig, ob man Platten oder Drähte aus Zink und Kupfer in die verdünnte Schwefelsäure eintaucht; daher ist die Größe der eingetauchten Fläche belanglos.

Wenn man das Kupfer mit dem Zink durch einen Metalldraht verbindet und ungefähr in der Mitte dieses Drahtes einen Punkt erdet, d. h. ihm die Spannung oder das Potential Null gibt, so wird auf der dem Kupfer näher liegenden Seite des Drahtes ein positives Potential und auf der dem Zink näher liegenden Seite ein negatives Potential in dem Draht herrschen, oder graphisch dargestellt, wenn in Fig. 3 AC den Draht bedeutet, der das Kupfer mit dem Zink verbindet, AB die positive Spannung und CD das negative Potential des Zinks vorstellt, so tritt zwischen A und C ein

Spannungsabfall ein, so daß etwa in E die Spannung Null herrscht und von E gegen C hin negativ wird. Die auf AC senkrecht stehenden und von BD begrenzten Strecken sind das Maß für die Spannung in den Punkten 1, 2, 3 des Drahtes AC. Dies läßt sich mit dem Quadrantelektrometer zur Darstellung bringen. Verbindet man das erste Quadrantenpaar mit dem einen Pol und das zweite Quadrantenpaar mit dem andern Pol eines galvanischen Elementes, so hat das erste Quadrantenpaar ein anderes Potential

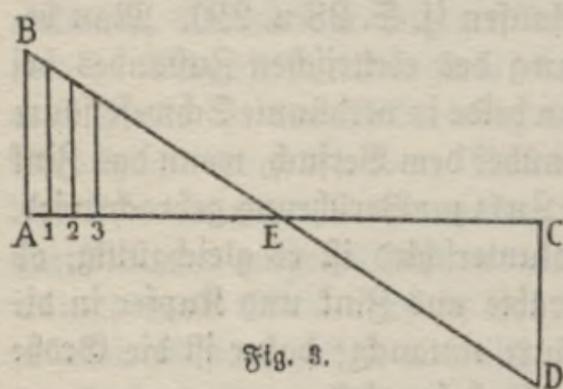


Fig. 3.

als das zweite und die Drehung der Nadel ist ein Maß für die Potentialdifferenz der beiden Pole.

Hat man mehrere galvanische Elemente in Serie geschaltet (Fig. 1), so hat das erste Kupfer ein um ungefähr 1 Volt höheres Potential als das erste Zink, und das gleiche Potential erhalten auch alle mit ihm verbundenen Leiter (Elektrizität 1. Teil, S. 26), also hat auch das zweite Zink ein um 1 Volt höheres Potential als das erste. Aber das Kupfer des zweiten Elementes hat wieder ein um 1 Volt höheres Potential als das Zink dieses Elementes, folglich hat das Kupfer des zweiten Elementes und ebenso das mit ihm verbundene Zink des dritten Elementes ein um 2 Volt höheres Potential als das Zink des ersten Elementes.

Verbindet man also eine beliebige Anzahl z. B. vier galvanische Elemente in der angegebenen Weise, so wird der Spannungsunterschied zwischen dem ersten Zink und dem letzten Kupfer viermal so groß sein wie bei einem einzigen Element, d. h. der Spannungsunterschied von vier Elementen beträgt 4 Volt an den beiden Enden. Sind die Elemente isoliert, so hat das erste Zink die Spannung von -2 Volt und das letzte Kupfer die Spannung $+2$ Volt. Die elektromotorische Kraft dieser Batterie = 4 Volt.

Bei der Parallelschaltung der galvanischen Elemente (Fig. 4) ist aber die elektromotorische Kraft die gleiche

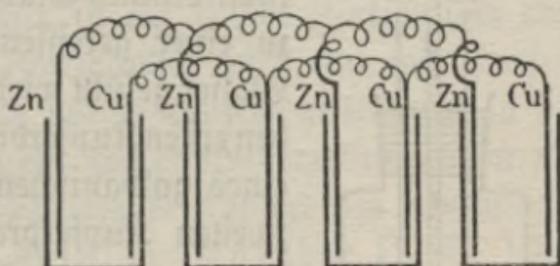


Fig. 4.

wie die eines einzelnen Elementes, indem ja nur die Oberfläche des Zinks oder des Kupfers vergrößert wurde, was nach S. 15 auf die Spannung ohne Einfluß ist. (Vgl. Elektrizität 1. Teil, S. 84 ff.)

2. Wirkungen der Elektrizität in der Strombahn.

Wenn der Elektrizität die Möglichkeit gegeben wird, von einem höheren Potential zu einem tieferen durch einen Draht zu fließen, so setzt der Draht dem Durchgang der Elektrizität einen Widerstand entgegen. Ähnlich wie eine Leitungsröhre, die von Wasser durchflossen wird, das Wasser nicht ungehindert durchfließen läßt, sondern die Geschwindigkeit des Wassers je nach ihrem

Querschnitt und der Beschaffenheit ihrer Innenseite mehr oder weniger verändert. Der Widerstand, den ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht der Elektrizität entgegensetzt, äußert sich in der Form einer Erwärmung des Drahtes, wie sich mit einem einfachen Versuch (Fig. 5) zeigen läßt. Ein Opodeldokglas ist durch einen Kork luftdicht verschlossen, und durch den Kork sind zwei Kupferdrähte eingeführt, die unten durch einen dünnen

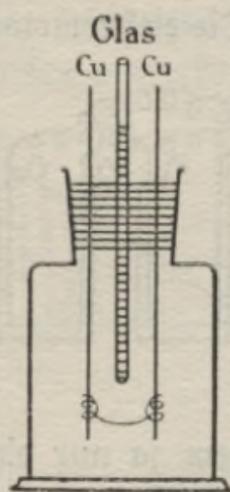


Fig. 5.

Platindraht verbunden sind. In den Kork ist ein dünnes Glasrohr eingesetzt, das bis zu einer gewissen Höhe mit gefärbtem Wasser gefüllt wird. Verbindet man nun den ersten Kupferdraht mit dem einen Pol eines galvanischen Elementes und den zweiten Kupferdraht mit dem andern Pol, so wird der Platindraht und durch ihn die Luft in dem Glas erwärmt, wodurch die Luft ausgedehnt wird. Deshalb steigt das Wasser in der dünnen Glasröhre in die Höhe.

Verbindet man mehrere galvanische Elemente hintereinander, taucht einen von dem einen Pol der Batterie ausgehenden Kupferdraht in Quecksilber, das sich in einem Gefäß befindet, ebenso einen von dem andern Pol der Batterie ausgehenden Kupferdraht, so entsteht in dem Moment, in dem man einen der beiden Kupferdrähte aus dem Quecksilber herauszieht — dieser Vorgang wird mit dem Namen *Stromunterbrechung* oder *Stromöffnung* bezeichnet — an der Unterbrechungsstelle ein Funken.

Muß später zu erörternden Gründen nimmt die Wirkung eines galvanischen Elementes, das aus Kupfer, verdünnter Schwefelsäure und Zink besteht, rasch ab. Man hat daher galvanische Elemente konstruiert, deren Wirkung längere Zeit andauert, und die als konstante Elemente bezeichnet werden.

Ein solches Element ist z. B. das Daniellsche Element (Günther, Gesch. d. Naturw. II. S. 159). Es besteht aus einem Glas, in dem sich verdünnte Schwefelsäure (1 Teil Schwefelsäure auf 9 Teile Wasser) befindet. In die Schwefelsäure ist ein hohler Zinkzylinder eingetaucht. In den Zinkzylinder wird eine mit Kupfervitriollösung gefüllte poröse Tonzelle gestellt und in die Kupfervitriollösung ein hohler Kupferzylinder oder ein zu einer Spirale gewundener Kupferdraht eingetaucht. Ein anderes, von Bunsen (Günther II. S. 140) angegebenes Element besteht aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäß, in das ein hohler Zinkzylinder gestellt wird. Innerhalb des Zinkzylinders befindet sich eine mit rauchender Salpetersäure gefüllte poröse Tonzelle, in die eine Kohle, wie sie aus den Retorten bei der Gasfabrikation gewonnen wird, eintaucht. Das Kupronelement enthält zwischen zwei miteinander leitend verbundenen Zinkplatten eine Platte aus Kupferoxyd. Die drei Metallplatten sind an einer Hartgummiplatte angeschraubt und werden in eine Lösung von Äkznatron eingetaucht, die sich in einem Glas befindet. Mit dem Quadrantelektrometer gemessen ist bei diesem Element sowohl Kupferoxyd als auch Zink negativ elektrisch, jedoch das Zink in viel stärkerem

Maße als das Kupferoxyd, so daß auch hier ein Potentialunterschied zwischen den beiden Metallen besteht.

Die Wärmewirkung des galvanischen Stromes wird bei dem Hydraztgalvanometer zur Messung der Stromstärke (S. 48) benutzt. Da der elektrische Strom einen von ihm durchflossenen Draht erwärmt, so erleidet der Draht eine Ausdehnung. Ist der Draht horizontal ausgespannt, so wird er infolgedessen nach unten sich ausbauchen. Diese Ausbauchung kann durch Übertragung auf eine Rolle, mit der ein Zeiger verbunden ist, an einer geeichten Skala sichtbar gemacht werden.

Die sogenannten Trockenelemente bestehen aus einer feuchten Masse, die bei den einzelnen Elementengattungen verschieden ist. In der feuchten Masse befindet sich ein Zinkstab und eine Kohlenplatte. In solcher Weise sind z. B. die Batterien der elektrischen Taschenlampen hergestellt. Die oben angeführte Wärmewirkung des elektrischen Stromes kommt bei den Taschenlampen in der Weise zur Geltung, daß eine kleine hohle Glasgugel (Glühbirne), die in ihrem luftleeren Innern entweder einen dünnen Kohlen- oder Metallfaden trägt, durch das Glühendwerden dieses Fadens Licht ausstrahlt.

Außer Wärmewirkungen bringt der elektrische Strom noch chemische Wirkungen in den sogenannten Elektrolyten hervor (Bücher der Naturwissensch., Bd. 4 und 8). Eine praktische Anwendung der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes macht man in der Galvanoplastik, erfunden von v. Jacobi 1837 (Günther, II. S. 168). Schickt man den Strom einer elektrischen Batterie in eine Lösung von Kupfervitriol (Fig. 6), in

die zwei Platinplatten Pt, Pt getaucht sind, so schlägt sich an der Kathode, d. h. an der Stelle, an welcher der Strom austritt (negativer Pol), das Kupfer nieder. Benutzt man als Kathode eine Kupfermünze, die in eine Goldlösung eingetaucht ist, und als Anode, d. h. als Metall an der Seite des eintretenden Stromes (positiver Pol), eine Goldplatte, so wird die Kupfermünze vergoldet. Macht man sich von einer Münze einen Gipsabguß, den man in geschmolzenes Stearin taucht und hierauf, um ihn für den elektrischen Strom leitend zu machen, mit Graphit überpinselt, so erhält man, wenn der graphitierte Abguß als Kathode benutzt wird, eine vollständig getreue Wiedergabe der Originalmünze in Silber, Gold, Kupfer, jenach den verwendeten Elektrolyten und der dazu passenden Anode. Blumen, die eine Überpinselung mit Graphit nicht ertragen, werden durch salpetersaures Silber leitend gemacht und dann ebenso wie ein graphitierter Gipsabguß behandelt. Holzschnitte oder Autotypen, die durch eine größere Anzahl von Abdrücken leiden würden, reproduziert man in der Weise, daß man von ihnen galvanoplastische Abdrücke, sog. Galvanos, herstellt und die Galvanos so lange benutzt, als sie noch scharfe Abdrücke geben. Die Galvanos können viel haltbarer gemacht werden, wenn man sie vernickelt oder verstäht, was gleichfalls auf galvanischem Wege

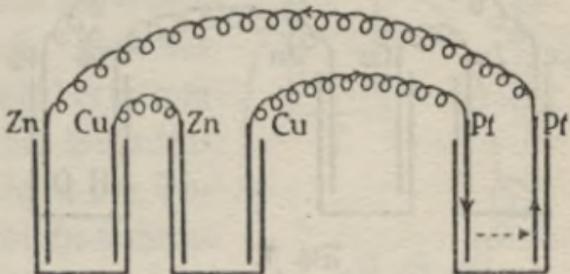


Fig. 6.

geschieht. Da sich das Metall an der Anode auflöst, so kann man mit Hilfe der Elektrizität auch gravieren. Man überzieht das als Anode dienende Metall mit Lack oder mit Wachs und zeichnet mit einer Nadel in den Lack oder in das Wachs eine Figur so tief, bis das Metall zum Vorschein kommt. Der Lack und das Wachs wird von dem elektrischen Strom nicht beeinflusst und deshalb erhält man die Zeichnung in das Metall eingätzt. Bedeckt man die Zeichnung ganz mit

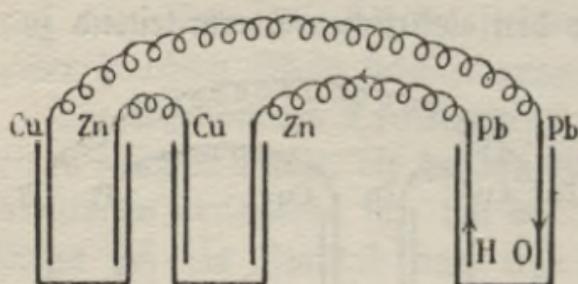


Fig. 7.

Lack und läßt die übrigen Teile der Metallplatte frei, so erhält man die Zeichnung erhaben. Die so behandelten Metallplatten können dann noch versilbert,

vergoldet oder verplatinirt werden, so daß sich eine förmliche Metallinkrustation ergibt.

Taucht man zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure, so entsteht infolge der Einwirkung der Schwefelsäure auf der Oberfläche einer jeden Bleiplatte Bleisulfat. Schickt man jetzt einen elektrischen Strom durch die Bleiplatten und die Schwefelsäure (Fig. 7), so schlägt sich an der mit dem positiven Pol verbundenen Bleiplatte der Sauerstoff aus der Schwefelsäure nieder, wodurch Bleisuperoxyd (PbO_2) gebildet wird; an der mit dem negativen Pol der Batterie verbundenen Bleiplatte sammelt sich der Wasserstoff, der das hier befind-

liche Bleisulfat zu Blei reduziert. Unterbricht man den Strom der elektrischen Batterie und verbindet die beiden Bleiplatten durch einen Draht, so verläuft in diesem Draht ein elektrischer Strom. Dieser Strom heißt Polarisationsstrom, und jede der beiden Bleiplatten ist „polarisiert“. Der Polarisationsstrom verläuft so, daß der positive Strom von der Bleiplatte in der Luft ausgeht, in die vorher der positive Strom eingetreten war. Von der Existenz des Polarisationsstromes überzeugt man sich durch nachstehenden Versuch. Von der Batterie B (Fig. 8) geht der Strom zu der Bleiplatte 1 der Polarisationszelle P, durch die in der Polarisationszelle befindliche Schwefelsäure zur Bleiplatte 2, von da in den Quecksilbernapf N und zum negativen Pol der Batterie zurück. An der Bleiplatte 1 setzt sich Bleisuperoxyd an — erkennbar an seiner braunen Färbung — und an der Bleiplatte 2 der Wasserstoff. Zwischen die Polarisationszelle P und den mit Quecksilber gefüllten Napf N kann ein Galvanometer (S. 30) eingeschaltet werden. Entfernt man den Draht A aus dem Quecksilber, so wird der Batteriestrom unterbrochen; taucht man dafür den Draht D in das Quecksilber ein, so verläuft ein Strom von der Bleiplatte 1 durch das Galvanometer und das Quecksilber zurück zur Bleiplatte 2, was sich an dem Galvanometer erkennen läßt.

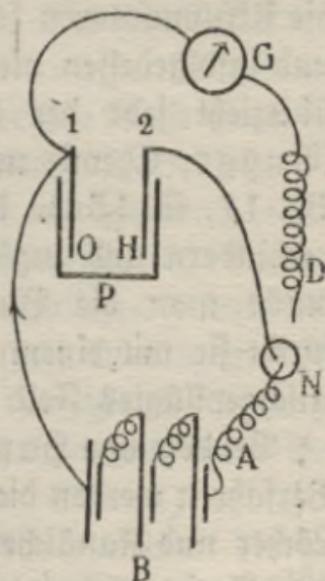


Fig. 8.

Eine Vorrichtung wie die beschriebene heißt sekundäres Element oder Akkumulator, d. h. Ansammler. Der Polarisationstrom eines so einfach hergestellten Akkumulators verschwindet aber bald wieder. Deshalb „formiert“ man die Bleiplatten in der Weise, daß man in monatelanger Dauer den Ladungsstrom bald in der einen, bald in der andern Richtung durch die Akkumulatoren schickt, wodurch die Bleimasse porös und infolgedessen viel aufnahmefähiger wird, oder man überzieht jede der beiden Bleiplatten mit Mennige (Bugge, Chemie und Technik. Bücher der Naturw. Bd. 11, S. 154). Um ein Herabfallen der Masse zu verhindern und zugleich die Oberfläche zu vergrößern, macht man die Bleiplatten gitterförmig oder durchfurcht sie mit einem feinen Stahl, so daß sie wie ein frischgepflügtes Feld aussehen.

Bei dem von Hannover in Kopenhagen erfundenen Verfahren werden die Bleiplatten mit Millionen feinsten Löcher und Kanälchen durchzogen. Das Blei wird mit 4% Antimon legiert und das Antimon durch Schleudern in einem erwärmten Ofen ausgetrieben. Das Blei nimmt dann einen porösen Zustand an und saugt die Flüssigkeit begierig auf.

Die mit Bleisuperoxyd überzogene Platte eines Akkumulators weist ein um ungefähr zwei Volt höheres Potential auf als die andere Platte. Deshalb muß zur Ladung eines Akkumulators eine Batterie benutzt werden, die mehr als zwei Volt Spannungsdifferenz besitzt, was man durch Hintereinanderschaltung mehrerer Daniellscher oder Bunsenelemente erreicht.

Der Edisonakkumulator, erfunden von Edison, (Günther II. S. 143) ist ein Kästchen aus vernickeltem geripptem Eisenblech, in dem sich dünne Platten aus Stahlblech mit rechteckigen Löchern befinden. In diese Löcher werden kleine Kästchen aus sehr dünnem Stahlein-
 gefest, die mit sog. Briketts gefüllt sind. Die Briketts auf der einen Platte bestehen aus Eisenoxyd, die der anderen aus feinpulverisiertem Nickeloxyd. Als Flüssigkeit verwendet man 21%ige Kalilauge (Bugge, Chemie und Technik. S. 90). Die elektromotorische Kraft einer solchen Zelle bei der Entladung beträgt 1,23 Volt.

Die Akkumulatoren lassen sich wie galvanische Elemente verwenden, auch hintereinanderschalten (Elektr. I. S. 48); sie erweisen sich den gewöhnlichen galvanischen Elementen in verschiedener Hinsicht überlegen. Ihr Hauptvorteil besteht darin, daß sie ihre Spannungsdifferenz lange Zeit konstant erhalten und nach ihrer Entladung wieder geladen werden können, so daß sie jederzeit betriebsfähig sind. Deshalb werden die galvanischen Elemente in der Praxis z. B. in der Telegraphie und Telephonie mehr und mehr durch die Akkumulatoren verdrängt.

Auch bei den elektrischen Taschenlampen wird die Batterie vorteilhaft durch einen Akkumulator ersetzt. In einem Glasgefäß befindet sich außer der positiven und der negativen Bleiplatte Glaswolle, die vor dem Laden mit 10%iger Schwefelsäure übergossen wird. Nach Beendigung der Ladung wird die Schwefelsäure weggegossen. Die der Glaswolle noch anhaftende Feuchtigkeit ermöglicht eine 4stündige Brenndauer der Taschenlampe.

Außer den Wärme- und elektrolytischen Wirkungen bringt der elektrische Strom in seiner direkten Strombahn noch physiologische Wirkungen hervor. Davon überzeugt man sich durch den salzigen Geschmack, den man empfindet, wenn man einen Kupfer- und einen Zinkdraht an die Zunge hält und den Kupferdraht mit dem Zinkdraht außerhalb des Mundes zur Berührung bringt. Schließt man bei dem Versuch die Augen, so empfindet man einen Lichtreiz, wenn der Kupferdraht mit dem Zinkdraht außerhalb des Mundes zur Berührung gebracht wird. Taucht man einen Kupferdraht, der mit dem einen Pol einer aus mehreren Elementen bestehenden galvanischen Batterie verbunden ist, in ein Gefäß, in dem sich Salzwasser befindet, und einen andern Kupferdraht, der mit dem andern Pol dieser Batterie verbunden ist, in ein zweites mit Salzwasser gefülltes Gefäß, so empfindet man eine Zuckung, wenn man gleichzeitig einen Finger der linken Hand in das eine und einen Finger der rechten Hand in das andere der mit Salzwasser gefüllten Gefäße eintaucht.

In der Praxis ist es oft erwünscht, sich rasch von der Richtung des elektrischen Stromes überzeugen zu können. Zu diesem Zwecke verwendet man sog. Polreagenz-papiere z. B. mit Phenolphthalein und Kochsalz (Bugge, Chemie und Technik S. 160) getränktes Filtrierpapier. Bringt man die Pole der zu untersuchenden Stromleitung auf angefeuchtetes Phenolphthaleinpapier, so entsteht an dem negativen Pol auf dem Papier ein roter Fleck (die Wirkung des sich bei der Zersetzung der Feuchtigkeit dort niederschlagenden roten Natriumsalzes des

Phenolphthaleins). Blaues Lakmuspapier in gleicher Weise behandelt, zeigt am positiven Pol einen roten, rotes Lakmuspapier am negativen Pol einen blauen Fleck. Ein mit Jodkalilösung getränktes Filtrierpapier färbt sich am positiven Pol braun.

3. Wirkungen der Elektrizität außerhalb der Strombahn.

Ebenso wie ein elektrischer Körper oder ein Magnet den Zustand seiner Umgebung verändert, bringt auch ein elektrischer Strom in seiner Umgebung Veränderungen hervor. Steckt man einen Kupferdraht senkrecht durch ein Quartblatt aus steifem Karton, schickt durch den Kupferdraht einen elektrischen Strom, der von mehreren parallel geschalteten Elementen hervorgebracht wird, und sibt auf den Karton Eisenpulver, so ordnet sich das Eisenpulver in konzentrischen Kreisen um den Kupferdraht an, wodurch man ein Bild der elektrischen Kraftlinien erhält, die um den Kupferdraht herumgehen.

Dersted beobachtete 1820, daß ein elektrischer Strom, der in der Nähe einer Deklinationssnadel vorbeigeführt wird, die Deklinationssnadel aus ihrer Gleichgewichtslage ablenkt (Günther, Geschichte d. Naturw. II. S. 157 f.). Ampère (ebenda) fand das Gesetz, nach welchem diese Ablenkung vor sich geht. Die sogenannte Ampèresche Regel lautet: Denkt man sich in der Richtung eines elektrischen Stromes schwimmend, so daß der Strom bei den Füßen ein- und beim Kopf austritt, so wird das Nordende der Magnetnadel nach der linken Hand abgelenkt. Beim Schwimmen hat man darauf zu achten, daß das Gesicht stets der Magnetnadel

zugewendet ist. Die Ablenkung einer Deklinationsnadel gewährt daher jederzeit die Möglichkeit, einen sicheren Schluß auf die Richtung eines elektrischen Stromes zu ziehen.

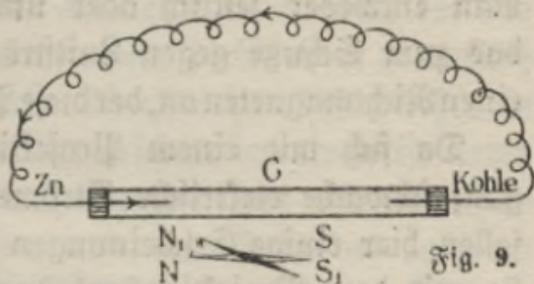
Der Versuch läßt sich leicht in der Weise anstellen, daß man über oder unter einer Deklinationsnadel einen Kupferdraht anbringt und durch den Kupferdraht einen elektrischen Strom schickt. Die Ampèresche Regel behält auch noch ihre Gültigkeit, wenn der elektrische Strom seitlich von einer Deklinationsnadel entweder in horizontaler oder vertikaler Richtung verläuft.

Hält man einen geradlinigen Leiter parallel zu einer Inklinationsnadel (Elektrizität 1. Teil, S. 119) und schickt einen Strom durch den Leiter, so stellt sich die Aluminiumgabel in eine nach der Ampèreschen Regel vorauszubestimmende Richtung, während die Inklinationsnadel entsprechend der neuen Ebene, in der sie zu schwingen genötigt ist, ihre Inklination ändert. Dagegen bringt ein Strom, der parallel zu einer Inklinationsnadel, die in einer feststehenden Gabel aufgehängt ist, verläuft, keine Wirkung hervor.

Die Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom gibt näheren Aufschluß über den Stromverlauf in einem galvanischen Element. Ein Glasrohr G (Fig. 9) wird mit Chromsäure gefüllt und an jeder Seite durch einen Kork verschlossen. Durch den einen Kork steckt man einen Zinkdraht und durch den andern Kork einen Kohlenstift. Diese Vorrichtung ist unter dem Namen Chromsäureelement bekannt. Verbindet man die Kohle mit dem Zink durch einen Kupferdraht und bringt den Draht über eine Deklinationsnadel, so

beobachtet man die Ablenkung der Magnetnadel nach der Ampèreschen Regel. Hält man jetzt das Glasrohr über die Deklinationsnadel, so wird die Nadel gleichfalls abgelenkt und zwar der Nordpol N nach Osten gegen N_1 . Aus der nun beobachteten Ablenkung ergibt sich, daß in der Chromsäure des Glasrohres der Strom vom Zink zur Kohle fließt, während er außerhalb von der Kohle zum Zink verläuft. (S. 15.)

Um die ablenkende Wirkung, die ein elektrischer Strom auf eine Magnetnadel hervorbringt, zu verstärken, verwendet man nicht einen einzigen Leitungsdraht, sondern führt den isolierten Kupferdraht in einer größeren Anzahl von Windungen um die Magnetnadel. Da jede einzelne Windung die Magnetnadel nach der nämlichen Richtung abzulenken sucht, so wird natürlich die Gesamtwirkung wesentlich größer.



Ganz schwache Wirkungen des elektrischen Stromes kann man erkennen, wenn man nicht eine einzige Magnetnadel, sondern mehrere magnetisierte Nadeln auf einen Spiegel klebt und das Ganze mittels eines Kokon- oder Quarzfadens in eine Spule hängt, auf der ein isolierter Kupferdraht in vielen Windungen aufgewickelt ist. Man erhält dann einen Apparat, wie er auf Taf. II abgebildet ist, auf der man deutlich die Spule, den Spiegel mit den aufgeklebten Magnetnadeln und den

Kokonsfaden sieht. Die Spule kann durch vier Schnüre in gleicher Weise wie beim Quadrantelektrometer so eingestellt werden, daß sich der Spiegel mit den Magnetnadeln genau in der Mitte der Spule befindet. Vor der Spule sieht man eine Vergrößerungslinse, die in derselben Weise wie beim Quadrantelektrometer dazu dient, einen Lichtfleck auf einem Projektionsgitter oder auf einem Pauspapier zu entwerfen. Ein solcher Apparat heißt Projektionsgalvanometer. Damit die Magnetnadeln parallel zur Vergrößerungslinse stehen, was im allgemeinen nicht der Fall sein wird, bringt man entweder seitlich oder unterhalb des Gehäuses, das zum Schutze gegen Luftströmungen notwendig ist, einen Richtmagneten an, der diese Parallelstellung bewirkt.

Da sich mit einem Projektionsgalvanometer noch ganz schwache elektrische Ströme nachweisen lassen, so sollen hier einige Erscheinungen mitgeteilt werden, wie sie mit dem Projektionsgalvanometer beobachtet wurden. Damit durch die zur Untersuchung benutzten elektrischen oder magnetischen Körper das Magnetsystem des Projektionsgalvanometers nicht beeinflusst wird, stellt man sich 5—6 m vom Galvanometer entfernt so auf, daß das Projektionsgitter sich zwischen dem Beobachter und dem Galvanometer befindet.

Bringt man einen geriebenen Kautschuk- oder Glasstab in die Nähe eines Poles einer Magnetnadel, so wird der Pol jedesmal von dem elektrischen Körper angezogen.

An jeder Außenwand des Galvanometergehäuses ist eine Klemmschraube angebracht; die eine Schraube

ist mit dem Anfang, die andere mit dem Ende des Drahtes der Galvanometerspule verbunden. Es wird nun an die eine Klemmschraube ein 5—10 m langer isolierter Kupferdraht angeschraubt, die andere Klemmschraube wird durch einen Kupferdraht zur Erde abgeleitet. Man erhält eine Ablenkung des Lichtflecks, wenn man auf das Ende des ersten Drahtes von einem geriebenen Kautschuk- oder Glasstab einen Funken überspringen läßt. Doch ist jetzt die Ablenkung in beiden Fällen verschieden und es läßt sich die Ablenkung des Lichtflecks nach der Ampèreschen Regel vorausbestimmen. Ebenso wird der Lichtfleck abgelenkt, wenn man auf das Ende des ersten Drahtes von dem Deckel eines geladenen Elektrophors einen Funken überspringen läßt. Schraubt man in jede der beiden Klemmschrauben einen isolierten Kupferdraht und hält das eine Ende des ersten Drahtes isoliert an den Teller und das Ende des anderen Drahtes isoliert an den Deckel eines geladenen Elektrophors, so wird der Elektrophor entladen. Der Entladungstrom verläuft durch den Draht der Galvanometerspule und bringt eine Ablenkung des Lichtflecks hervor. Hält man das Ende des Drahtes, womit der Deckel des Elektrophors berührt wurde, an den Teller des Elektrophors und das Ende des Drahtes, womit man den Teller berührte, an den Deckel, so erfolgt die Ablenkung des Lichtflecks nach der entgegengesetzten Seite. Da bei diesen Versuchen nur ein Stromstoß in die Galvanometerspule geschickt wurde, erhält der Lichtfleck auch nur eine momentane Ablenkung und kehrt gleich darauf wieder in seine Ruhelage zurück. Bei

solchen Versuchen wirkt das Galvanometer als ballistisches Galvanometer.

Schaltet man zwischen die zum Galvanometer führenden Leitungsdrähte einen Kupferdraht und erwärmt ihn an einer Stelle durch eine untergesetzte Kerzenflamme, so zeigt die Ablenkung des Lichtflecks einen Strom an. Macht man in einen 0,5—1 mm dicken Kupferdraht, der zwischen die Leitungsdrähte eingeschaltet ist, eine Schleife und zieht die Schleife plötzlich zu einem Knoten zusammen, so entsteht infolge der dadurch hervorgebrachten Erwärmung gleichfalls ein Strom in dem Kupferdraht.

Taucht man irgend zwei Drähte von dem gleichen Metall, z. B. zwei Kupferdrähte oder die zwei Stücke einer in der Mitte auseinander gebrochenen Stricknadel in gewöhnliches oder destilliertes Wasser oder auch in Quecksilber, so erhält man gleichfalls einen elektrischen Strom, wodurch sich zeigt, daß schon die allergeringsten Verschiedenheiten an der Oberfläche hinreichen, einen solchen hervorzurufen. Das gleiche ist der Fall, wenn man statt des Wassers eine rohe oder gekochte Kartoffel, einen Rettich oder irgendeine andere Rübe verwendet. Ebenso entsteht ein elektrischer Strom, wenn man zwei Kupferdrähte in den ganz trockenen Erdboden steckt und die aus dem Erdboden herausragenden Enden durch Kupferdrähte, in die das Galvanometer eingeschaltet ist, verbindet.

Man verbindet den positiven Pol eines galvanischen Elementes mit dem einen Ende eines Kupferdrahtes, während das andere Ende dieses Kupferdrahtes auf

einem Stück Papier oder auf einer Porzellanplatte aufliegt; ferner verbindet man den negativen Pol dieses Elementes durch einen Kupferdraht mit der einen Klemmschraube der Galvanometerspule und führt von der andern Klemmschraube der Galvanometerspule einen zweiten Draht auf das Papier oder die Porzellanplatte, dabei zeigt sich keine Ablenkung des Lichtflecks, da der Strom durch die isolierende Schicht des Papiers oder der Porzellanplatte unterbrochen ist. Macht man nun auf das Papier oder die Porzellanplatte einen Strich mit Bleistift oder mit einer Kohle aus einer Bogenlampe, so daß die beiden Drahtenden auf dem Strich aufliegen, so zeigt die Ablenkung des Lichtflecks einen elektrischen Strom an.

4. Elektromagnetismus.

Umwickelt man einen weichen Eisenkern mit einem isolierten Kupferdraht und schickt durch den Kupferdraht einen elektrischen Strom, so wird der weiche Eisenkern zu einem Magneten und zwar entsteht der Südpol des Magneten da, wo der Strom von vorne gesehen in der Richtung des Uhrzeigers verläuft. Mit dem Verschwinden des Stromes wird das weiche Eisen wieder nahezu unmagnetisch, während ein Stahlstab dauernd magnetisch bleibt, wenn er längere Zeit von einem elektrischen Strom umflossen war. Ein von einem elektrischen Strom umflossener weicher Eisenkern heißt Elektromagnet und das Gesamtgebiet der hierher gehörenden Erscheinungen Elektromagnetismus.

Die Elektromagnete weisen viel stärkeren Magne-

tismus auf als die permanenten Stahlmagnete. Deshalb benutzt man Elektromagnete zur Herstellung von kräftigen Stahlmagneten, indem man den unmagnetischen Stahlstab etwa 200 Mal von seiner Mitte aus gegen das eine Ende über den Nordpol und dann wieder von der Mitte aus gegen das andere Ende über den Südpol des Elektromagneten hinwegzieht. Versucht man zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten von hufeisenförmiger Gestalt einen eisernen Säbel einzubringen, so gelingt dies nur sehr schwer, da die geringste Abweichung von der Mitte zwischen den beiden Polen dem näherliegenden Pol Gelegenheit gibt, seine Anziehungskraft auszuüben. Will man eine mit einem Griff versehene Messing- oder Kupferplatte zwischen den Polen dieses Elektromagneten hindurchbewegen, so hat man das Gefühl, als ob man die Platte in einer käsigen Masse bewegen würde. Die Erklärung für die zuletzt genannte Erscheinung ist die nämliche wie für das Waltenhofensche Pendel (S. 114).

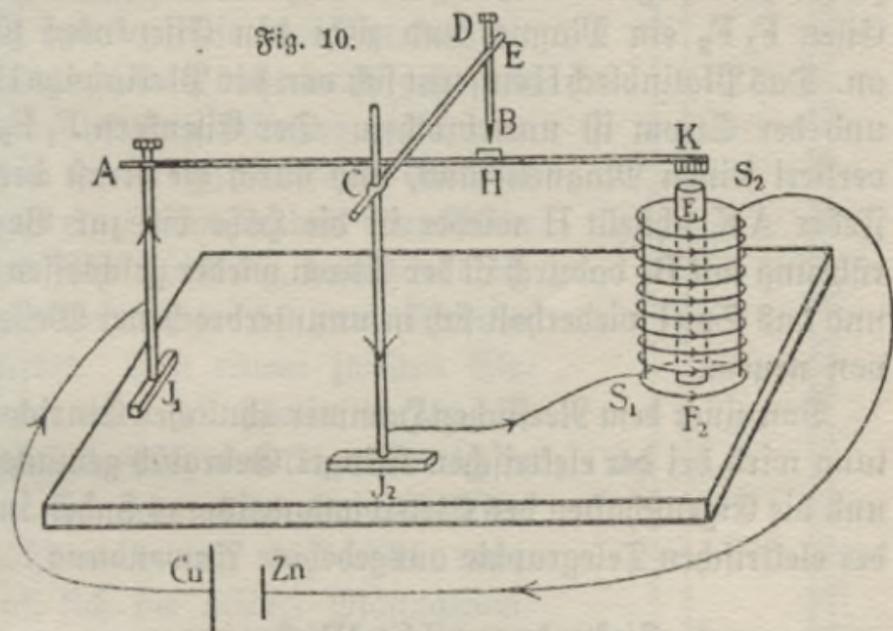
In der Augenheilkunde werden kräftige Elektromagnete verwendet, um in den Augapfel eingedrungene Eisensplitter herauszuziehen.

Die Tatsache, daß ein weicher Eisenkern, wenn er von einem elektrischen Strom umflossen wird, sich in einen Magneten verwandelt und beim Verschwinden des Stromes seinen Magnetismus wieder verliert, kann in verschiedener Weise praktisch verwertet werden.

Der Reeffsche oder Wagnersche Hammer (Günther II. S. 168), der bei vielen elektrischen Apparaten eine hervorragende Rolle spielt, besteht

(Fig. 10) aus einer Metallplatte, auf der ein Metallständer AJ_1 und ein Metallständer CJ_2 isoliert von der Metallplatte befestigt sind. J_1 und J_2 sind die Isolierstellen. Der Ständer AJ_1 ist der Träger für eine Metallfeder AK , an der K eine kleine Masse aus weichem Eisen bedeutet. Der Ständer J_2C trägt einen auf J_2C rechtwinklig stehenden Arm CE , durch den ein Stift DB verschiebbar eingeschraubt ist. Dieser

Fig. 10.



trägt an seinem unteren Ende bei B eine Spitze aus Platin, die sich einem auf der Feder AK angelöteten Platinblech H gegenüber befindet. Die Verwendung von Platin ist notwendig, da die anderen Metalle sehr rasch durch die zwischen B und H entstehenden Funken oxydiert und verbrannt werden. Unterhalb des Eisenstückes K befindet sich ein Elektromagnet mit dem weichen Eisenkern F_1F_2 in einer Spule, die mit isoliertem

Kupferdraht $S_1 S_2$ unwickelt ist. Wird nun der positive Pol eines galvanischen Elementes z. B. mit dem Ständer $A J_1$ durch einen Leitungsdraht, der Anfang S_1 der Spulenumwicklung mit dem Ständer $C J_2$ und das Ende S_2 des Spulendrahtes mit dem negativen Pol dieses Elementes verbunden, so verläuft der Strom vom positiven Pol nach A, B, E, C, S_1, S_2 und dann zurück zum negativen Pol. Dadurch wird das weiche Eisen $F_1 F_2$ ein Magnet und zieht den Eisenknopf K an. Das Platinblech entfernt sich von der Platinspitze B und der Strom ist unterbrochen. Der Eisenkern $F_1 F_2$ verliert seinen Magnetismus, und durch die Kraft der Feder $A K$ schnellst H wieder in die Höhe bis zur Berührung mit B ; dadurch ist der Strom wieder geschlossen, und das Spiel wiederholt sich in ununterbrochener Weise von neuem.

Von einer dem Reeffschen Hammer ähnlichen Einrichtung wird bei der elektrischen Klingel Gebrauch gemacht und die Eigenschaften des Elektromagnetismus finden in der elektrischen Telegraphie ausgedehnte Anwendung.

5. Elektrodynamische Wirkungen.

In Fig. 11 stellt $S_1 S_2$ eine ungefähr 2 m lange Holzlatte vor, in die oben ein Glasstab $G_1 G_2$ eingesteckt ist. A_1 und A_2 sind ungefähr 80 cm lange Stücke Lametta, die oben um den Glasstab so gewickelt sind, daß sie durch Reibung festgehalten werden. M_1 und M_2 sind zwei Stücke aus Magnesiumblech von 0,5 mm Dicke, 4 mm Breite und 200 mm Länge, die sowohl an ihrem oberen als auch an ihrem unteren Ende durch-

locht sind, damit man sie an die Lamettastreifen anknüpfen kann. Ebenso stellen A_3 und A_4 Lamettastäden vor, die in die unteren Löcher der Magnaliumbleche eingeknüpft sind. Sowohl A_3 als A_4 trägt am unteren Ende eine Klemmschraube, von denen jede auf Quecksilber, das sich in den Glasnäpfschen V_1 und V_2 befindet, schwimmt. Die Länge von A_3 und A_4 ist so bemessen, daß die Lamettastäden nicht straff gespannt sind, sondern schwingen können. Von einem galvanischen Element geht ein Strom in das Quecksilber des Näpfschens V_1 , durchfließt M_1 und geht über A_1 zum Element zurück. Von einem zweiten Element tritt der Strom in V_2 ein, durchläuft M_2 und kehrt über A_2 in das Element zurück. Bei dieser Versuchsanordnung beobachtet man, daß sich die beiden Magnaliumstreifen, deren Entfernung nicht mehr als 2 cm betragen darf, einander nähern. Kehrt man die Stromrichtung entweder in M_1 oder in M_2 um, so stoßen sich die beiden Magnaliumstreifen ab. Diese Erscheinung wird ausgedrückt: Parallel und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an; parallel und entgegengesetzt gerichtete Ströme stoßen einander ab. Ver-

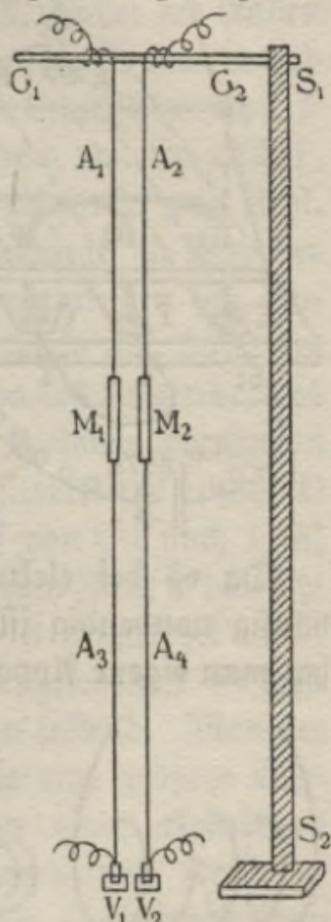


Fig. 11.

wendet man statt der geradlinigen Magnaliumstreifen M_1 und M_2 rechteckig gebogene Rahmen aus Magnalium, so daß der eine Rahmen etwas kleiner ist als der

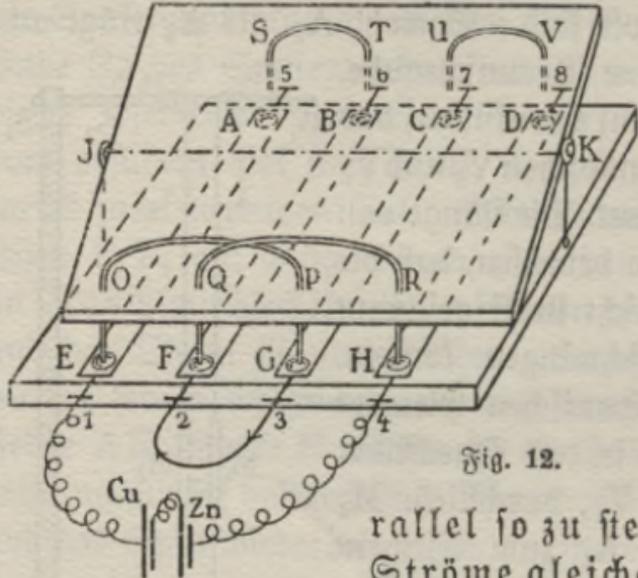


Fig. 12.

andere, damit er sich in dem größeren bewegen kann, so ergibt sich bei Wiederholung des Versuches die Tatsache:

Gekreuzte Ströme suchen sich parallel so zu stellen, daß die Ströme gleichgerichtet sind.

Da es bei elektrischen Versuchen, wie bei diesen, häufig notwendig ist, Stromrichtungen umzukehren, so hat man eigene Apparate, sogenannte Stromwender,

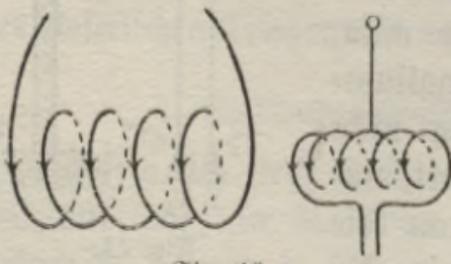


Fig. 13.

konstruiert, mit denen man die Richtung eines elektrischen Stromes rasch umkehren kann (Fig. 12). Auf einem Brett sind vier eiserne Lineale angeschraubt, in die Näpfe

A, B, C, D, E, F, G, H eingebohrt sind, die mit Quecksilber gefüllt werden. J und K sind Ständer, an denen ein Holzdeckel drehbar befestigt ist. Der Deckel ist durchbohrt und durch die Durchbohrungen sind Kupferdrähte

OP, QR, ST, UV gesteckt. Die Drähte OP und QR dürfen sich nicht berühren. Man verbindet den positiven Pol einer Batterie mit der Klemme 1 und ihren negativen Pol mit der Klemme 4; nun verläuft, wenn der Deckel nach vorne umgekippt ist, wobei die Enden des Drahtes OP in die Quecksilbernäpfe E und G und die Enden des Drahtes QR in die Quecksilbernäpfe F und H eintauchen, der elektrische Strom von Cu nach 1, E, O, P, G, 3, 2, F, Q, R, H, 4 und zurück zum Zink. Zwischen 2 und 3 ist irgendein Apparat, in dem der elektrische Strom eine Wirkung hervorbringen soll, eingeschaltet. Kippt man jetzt den Deckel so um, daß seine Rückseite tiefer steht, wobei die Enden des Kupferdrahtes ST in die Quecksilbernäpfe A und B, sowie die Enden des Kupferdrahtes UV in die Quecksilbernäpfe C und D eintauchen, so ist der Stromverlauf von Cu nach 1, A, S, T, B, 2, 3, C, U, V, D, 4 zurück zum Zink, so daß jetzt die Stromrichtung zwischen 2 und 3 umgekehrt ist.

Die an Hand der Fig. 11 beschriebenen Erscheinungen sind nicht sehr in die Augen fallend. Man hat daher Einrichtungen konstruirt, die eine größere Wirkung hervorbringen. Schickt man einen elektrischen Strom in einen spiralförmig gewundenen Draht — ein solcher Draht führt den Namen Solenoid (von *σωλήν*, die Röhre) — und einen zweiten elektrischen Strom in ein zweites Solenoid, das an einem Kokonfaden aufgehängt ist (Fig. 13), so daß es sich leicht drehen kann, so wird das zweite Solenoid von dem ersten entweder angezogen oder abgestoßen, je nachdem die Ströme gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Die gegen-

seitige Anziehung parallel und gleichgerichteter Ströme kann man auch mit einem einzigen galvanischen Element zeigen.

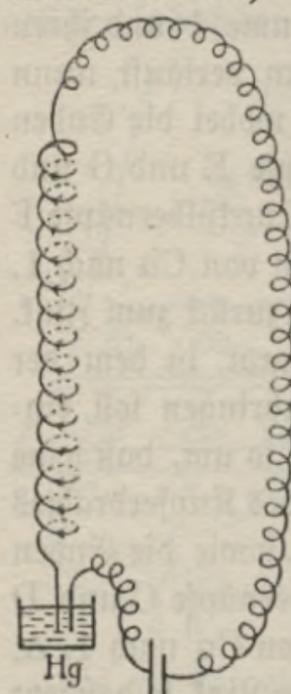


Fig. 14.

Hängt man eine federnde Kupferspirale (Fig. 14) vertikal so auf, daß ihr unteres Ende in Quecksilber taucht, und verbindet den einen Pol eines galvanischen Elementes mit dem Quecksilber, den andern Pol mit dem oberen Ende der Drahtspirale, so gerät die Spiralfeder in auf- und abwärtsgehende Schwingungen, weil die von derselben Stromrichtung durchflossenen Windungsteile einander anziehen. Dadurch wird das untere Ende der Feder aus dem Quecksilber gehoben und der Strom unterbrochen. Durch ihre Schwere sinkt die Feder wieder bis

auf das Quecksilber, worauf sich der Vorgang von neuem wiederholt. Wird ein permanenter Stahlmagnet an

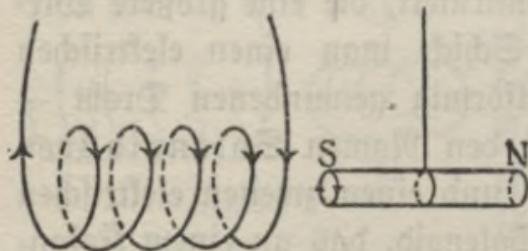


Fig. 15.

einem ungedrehten Faden so aufgehängt, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei bewegen kann, und durch ein in seiner Nähe befindliches Solenoid ein elektrischer Strom geschickt, so wird der Magnetstab entweder in das Solenoid hineingezogen oder von dem Solenoid abgestoßen. Bei dem aus Fig. 15

lenoid ein elektrischer Strom geschickt, so wird der Magnetstab entweder in das Solenoid hineingezogen oder von dem Solenoid abgestoßen. Bei dem aus Fig. 15

ersichtlichen Stromverlauf tritt eine Anziehung ein. Kehrt man den Strom in der Spirale um, so erfolgt Abstoßung. Schickt man einen elektrischen Strom durch einen isolierten Kupferdraht, der in vielen Windungen auf eine in der Mitte mit einer 20 mm im Durchmesser haltenden Bohrung versehene Spule gewickelt ist (Fig. 16), so wird ein an einer Feder aufgehängter hohler Eisenzylinder AB in die Spule hineingezogen.

Von dieser Tatsache wird bei der Konstruktion elektrischer Meßapparate Gebrauch gemacht (vgl. S. 57 f.).

Ein von einem elektrischen Strom umflossenes Solenoid verhält sich also genau so wie ein Magnet. Dies führt auf den Gedanken, daß ein Magnet nichts anderes ist als ein von einem Strom umflossenes Solenoid und zwar wird da, wo der Nordpol entsteht, der Strom von vorne gesehen entgegengesetzt wie ein Uhrzeiger und beim Südpol in der Rich-

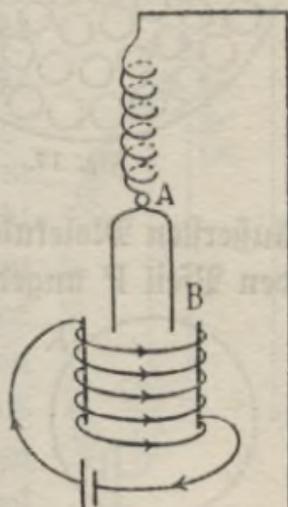


Fig. 16.

tung des Uhrzeigers verlaufen. Nach der von Ampère aufgestellten Theorie denkt man sich jedes kleine Eisenmolekül von einem elektrischen Strom umflossen. Hierbei ist es gleichgültig, ob das Eisen magnetisch ist oder nicht. Diese Ströme heißen Molekularströme. In einem unmagnetischen Eisen haben diese Ströme beliebige Richtung, bringen also nach außen keinerlei Wirkung hervor. Schickt man aber jetzt um das Eisen einen elektrischen Strom, so suchen sich die Molekularströme alle dem um

daß Eisen geschickten Strom gleichgerichtet und parallel zu stellen (Fig. 17). Betrachtet man irgend zwei im Innern

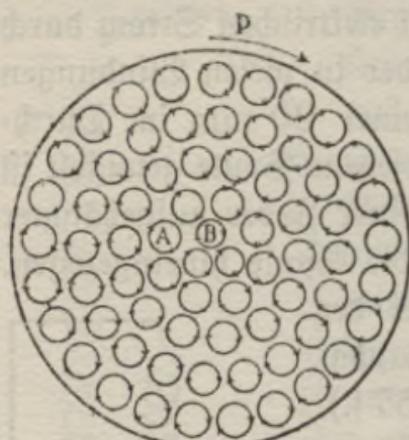


Fig. 17.

des Eisens liegende Moleküle, z. B. A und B, so sieht man, daß an der Seite, wo die Moleküle zusammenstoßen, die Ströme entgegengesetzt verlaufen, also nach außen keine Wirkung hervorbringen können. Man kann daher annehmen, daß um jeden Magneten ein Strom fließt, der die Summe der

äußersten Molekularströme ist und dessen Richtung durch den Pfeil P angedeutet wird. Bei einem permanenten

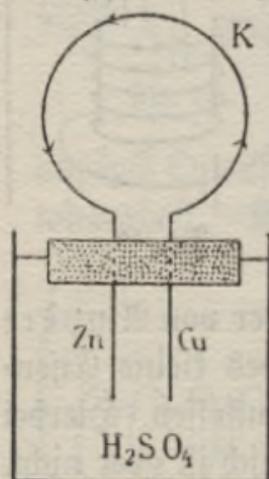


Fig. 18.

Magneten behalten diese Kreisströme ihre geordnete Richtung bei, woraus sich die Polarität des Magneten ergibt.

Steckt man eine Zink- und eine Kupferplatte in einen entsprechend großen Kork und läßt die ganze Vorrichtung auf Schwefelsäure, die sich in einem Glase befindet, schwimmen (Fig. 18), so stellt sich der Schwimmer, wenn man das Zink mit dem Kupfer außerhalb des Glases durch einen kreisförmigen Kupferdraht K

verbindet, senkrecht zur Richtung des magnetischen Meridians und zwar so, daß von Süden gesehen der Strom in der Richtung des Uhrzeigers verläuft. Daraus wird

man schließen, daß die Erde von einem elektrischen Strom umflossen ist, der die nämliche Richtung hat wie der Strom in dem Schwimmer, so daß also dieser Strom in der Richtung West-Süd-Ost verläuft.

Wenn eine Magnethadel durch einen elektrischen Strom abgelenkt werden kann, so wird auch umgekehrt ein von einem elektrischen Strom durchflossener Leiter durch einen Magneten abgelenkt werden können.

Nähert man dem Draht des Schwimmers (Fig. 18) einen Magnetpol, so wird der Schwimmer entweder angezogen oder abgestoßen, je nachdem der dem Magneten supponierte Strom dem Strom im Schwimmer gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Schickt man durch einen vertikal aufgehängten Platindraht, dessen unteres Ende in Quecksilber taucht, einen Strom in der Art, daß der eine Pol eines galvanischen Elementes mit dem oberen Ende des Platindrahtes, der andere Pol mit dem Quecksilber verbunden wird, so kann man den Platindraht mit einem permanenten Magneten ablenken.

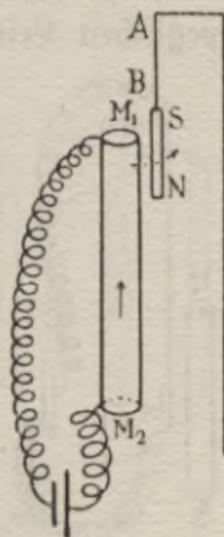


Fig. 19.

Um die Drehung eines Magnetpols um einen feststehenden Stromleiter zu zeigen, kann man folgenden Versuch machen: (Fig. 19) M_1M_2 ist ein Messingrohr von 25—30 cm Höhe, 1 mm Wandstärke und 10 mm lichtigem Durchmesser. In dieses Rohr wird von einem galvanischen Element ein Strom geschickt. An einem Kokonfadensystem AB ist ein magnetisierter Stahldraht SN

in der aus der Fig. 19 ersichtlichen Weise aufgehängt. Im Moment des Stromschließens beginnt der Magnet das Messingrohr zu umkreisen und zwar in der durch den punktierten Pfeil angegebenen Richtung, d. h. entgegengesetzt der Richtung des Uhrzeigers. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, so rotiert der Magnetpol gleichfalls in umgekehrter Richtung um das Messingrohr. Ebenso läßt sich die Drehung eines beweglichen Leiters um einen feststehenden Magneten zeigen.

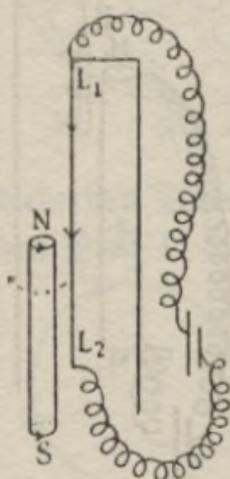


Fig. 20.

In Fig. 20 stellt NS einen permanenten Stahlmagneten mit dem Nordpol N und dem Südpol S vor, L_1L_2 ist ein Stück Lametta, das an einem isolierten Ständer aufgehängt ist. Wird durch L_1L_2 ein elektrischer Strom geschickt, so legt sich das Lamettaband in Windungen, deren Richtung durch den punktierten Pfeil angegeben ist, um den Magnetpol N. Bei Umkehrung der Stromrichtung schlingt sich das Lamettaband in umgekehrter Richtung um den Magnet-

stab. Auf ein Stückchen Karton von 2 cm Länge und 1 cm Breite wickelt man ein Stück Lametta so auf, daß sich die einzelnen Windungen nicht berühren, was durch kleine Einschnitte, in die das Lametta etwas eingezogen wird, erreicht werden kann. Das Kartonstück wird an einem Kokonfaden zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten gehängt (Fig. 21). Schickt man in das Lamettaband einen elektrischen Strom, so verhält sich der bewegliche Leiter wie ein Magnet, d. h. er stellt sich so ein, daß

dem Nordpol des Hufeisenmagneten die Seite des Kartons zugekehrt ist, auf der der Strom von vorne gesehen in Uhrzeigerrichtung verläuft. Bei Umkehr der Stromrichtung dreht sich auch der Karton um 180° . Diese Tatsache wird zur Konstruktion eines Galvanometers nach dem System Deprez-d'Arsonval (Günther II. S. 159) benutzt. Bei diesem Galvanometer ist ein Hufeisenmagnet fest und die Spule beweglich angeordnet.

Innerhalb der Pole eines permanenten Hufeisenmagneten oder auch eines Elektromagneten ist eine mit dünnem isoliertem Kupferdraht bewickelte Spule entweder an einem Lamettaband aufgehängt oder in Edelsteinen gelagert. In diese Spule wird der zu untersuchende Strom geschickt; an der aufgehängten Spule ist ebenso wie bei dem Projektionsgalvanometer ein Spiegel befestigt, wodurch ganz in der nämlichen Weise wie bisher ein Lichtfleck abgelenkt wird. Die Empfindlichkeit dieses Galvanometers ist aber nicht so groß wie die

des Projektionsgalvanometers. Für technische Zwecke benutzt man Apparate, bei denen die Achse der Spule in Edelsteinen gelagert ist und durch eine Feder ähnlich der Unruhe einer Taschenuhr wieder in ihre Gleichgewichtslage zurückgebracht wird. Die Spule hat die Form eines rechteckigen Rahmens, der sich um einen Zylinder aus weichem Eisen frei drehen kann. Der Eisenzylinder ist zwischen den Polschuhen des Hufeisenmagneten

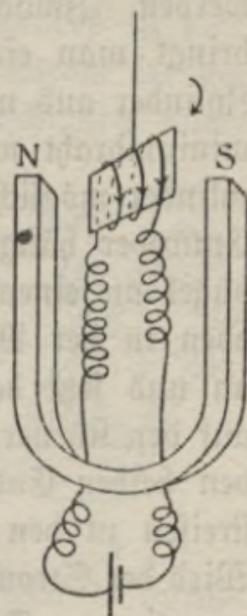


Fig. 21.

angebracht. An der Achse ist ein Zeiger befestigt, der über einer geeichten Skala schwingt und eine sofortige Ablesung der Messung gestattet. Die Galvanometer nach dem System Deprez-d'Arsonval werden auch Drehspulengalvanometer genannt.

Ein Modell, das mit einem Drehspulenapparat möglichst übereinstimmt, kann in folgender Weise angefertigt werden. Zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten bringt man einen Ständer und stellt darauf einen Zylinder aus weichem Eisen. Ein Kupfer- oder Aluminiumdraht wird so gebogen, daß er diesen Eisenzylinder möglichst nahe umgibt, ohne ihn zu berühren. Entweder hängt man jetzt den so erhaltenen Drahtbügel an einem Konkonfaden auf, oder man bringt oben in der Mitte des Eisenzylinders einen Körner an und setzt den Drahtbügel mittels einer Beinspize auf den Körner, so daß er sich frei drehen kann. Von den beiden Enden des Drahtbügels führen Lamettastreifen zu den Polen eines galvanischen Elementes. Wird der Strom geschlossen, so beginnt der Drahtbügel zu rotieren. Der weiche Eisenkern hat den Zweck ein stärkeres magnetisches Feld zu erzeugen, wodurch die Empfindlichkeit der Vorrichtung vergrößert wird.

Auf dem nämlichen Prinzip wie der S. 41 zu Fig. 16 beschriebene Versuch beruht der Motor von Page (Günther II. S. 167). (Fig. 22.) A und B stellen zwei mit isoliertem Kupferdraht bewickelte Holzspulen vor, die voneinander isoliert sind. Eine runde Stange EF von weichem Eisen, die auf Rollen gleitet, ist bei C an einer Pleuelstange P befestigt. Wird in die Spule A ein elektri-

scher Strom geschickt, so wird die Eisenstange in die Spule A hineingezogen, bewegt sich also nach links. Wird jetzt der Strom unterbrochen und ein Strom in die Spule B geschickt, so wird die Eisenstange nach rechts in die Spule B gezogen. Durch die Pleuelstange P wird die geradlinige Bewegung der Eisenstange in eine rotierende verwandelt, wodurch sich das Schwungrad S im Kreise dreht. Auf der Achse D des Schwungrades ist eine Vorrichtung angebracht, wodurch der Strom im geeigneten Moment unterbrochen und geschlossen wird,

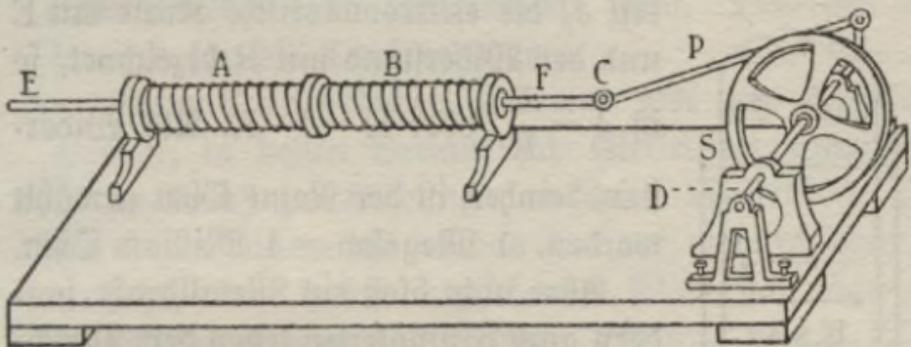


Fig. 22.

so daß er abwechselnd die Spirale A und B durchfließt. Dadurch erfolgt eine andauernde Drehung des Schwungrades S.

6. Elektrische Maßeinheiten.*)

Ähnlich wie bei der Reibungselektrizität nimmt man auch bei der galvanischen Elektrizität eine Elektrizitätsmenge an, die von der elektromotorischen Kraft veranlaßt wird, durch den Leitungsdraht zu fließen, der hierbei dem

*) Vergl. Elektrizität I. S. 21 ff. 24. 30. 32 ff. 54. 74. 81. 87. 89 f. 123 f.

Durchgang der Elektrizität einen Widerstand entgegensetzt. Die Menge der in einer Sekunde durch den Leitungsdraht fließenden Elektrizität heißt Stromstärke. Als Einheit der Stromstärke ist der Name Ampère eingeführt worden. Der 1000. Teil eines Ampère heißt ein Milliampère. Ohm hat 1826 das nach ihm benannte Gesetz (Günther, Geschichte der Naturwiss. II. S. 157) gefunden: $\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$ oder, wenn man die Stromstärke

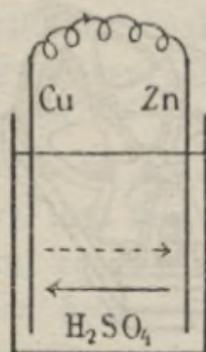


Fig. 23.

mit J , die elektromotorische Kraft mit E und den Widerstand mit R bezeichnet, so ist $J = \frac{E}{R}$, oder $E = J \cdot R$. Als Widerstandseinheit ist der Name Ohm gewählt worden. 1 Megohm = 1 Million Ohm.

Aber nicht bloß ein Metalldraht sondern auch Flüssigkeiten setzen dem Durchgang der Elektrizität einen Widerstand entgegen. In Fig. 23 ist der Stromverlauf sowohl innerhalb als außerhalb eines Elementes durch Pfeile ersichtlich gemacht. Der Widerstand, den die Flüssigkeit eines Elementes als solche dem elektrischen Strom entgegensetzt, bezeichnet man als den Ohmschen Widerstand des Elementes. Die Stromstärke wird außerdem noch bedingt durch die Polarisation (S. 23). Denn ebenso wie in einem sekundären Element entsteht auch in jedem einzelnen Element am Kupfer-Pol Wasserstoff und am Zink-Pol Sauerstoff, wodurch nach dem Früheren ein Strom hervorgerufen wird, der in

der Flüssigkeit vom Wasserstoff zum Sauerstoff verläuft. Dieser Strom, der dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet ist — in der Figur ist seine Richtung durch den punktierten Pfeil angedeutet — schwächt den Hauptstrom. Der scheinbare innere Widerstand eines Elementes setzt sich zusammen aus dem Ohmschen Widerstand der Flüssigkeit und der gegen elektromotorischen Kraft des Elementes. Ist ein Element längere Zeit im Gebrauch, so wird sein innerer Widerstand so groß, daß das Element nur noch eine verschwindende Stromstärke liefert, wodurch es unbrauchbar wird. Dies gilt besonders für die Trockenelemente.

Beim Daniellschen Element gibt der chemische Prozeß, in dessen Verlauf sich Elektrizität entwickelt, keinen Anlaß zur Bildung von freiem Wasserstoff. In der Schwefelsäure löst sich das Zink auf, wodurch $ZnSO_4$ entsteht, der dabei entstehende Wasserstoff bewirkt Ausscheidung von Kupfer unter Bildung von H_2SO_4 . Beim Bunsenschen Element wird der Wasserstoff, der an der Kohle auftreten und Anlaß zur Polarisation bieten würde, durch die Salpetersäure oxydiert und damit unschädlich gemacht. Beim Chromsäure-Element (S. 28) bewirkt die Chromsäure die Oxydation des Wasserstoffes.

Wie im ersten Teile der Elektrizität S. 123 ausgeführt wurde, kann die Ablenkung einer Magnetnadel durch eine Anzahl von Dynen gemessen werden. Da man eine Magnetnadel auch durch einen elektrischen Strom ablenken kann, so wird auch der elektrische Strom nach dem absoluten Maßsystem gemessen werden können.

Versuche zeigen, daß der Strom, der in einer Sekunde die n -fache Elektrizitätsmenge durch den Querschnitt fördert, auch die n -fache Knallgasmenge in der Sekunde liefert und die n -fache Kraft auf eine Magnetnadel in einem gegebenen Kreis ausübt.

Nun waren bis zum Jahre 1881 schon zwei Maße im Gebrauch, nämlich die elektromotorische Kraft eines Daniellschen Elementes und der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt und 1 m Länge als Maßeinheit für den Widerstand, die sogenannte Siemens-Einheit (Günther II. S. 166). Man wollte daher auf dem Elektriker-Kongreß zu Paris die neuen Maßeinheiten den schon einmal eingeführten möglichst nahe bringen und sie als Vielfache von 10 nach dem absoluten Maßsystem zum Ausdruck bringen. Deshalb wurde eine elektrostatische Einheit = 300 Volt und 1 Ohm = dem Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt und 1,063 m Länge gesetzt, woraus dann nach dem Ohmschen Gesetz folgt: 1 Ampère = $\frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$. Ein Daniell war dann gleich 1,08 Volt; der 1000. Teil eines Volt heißt Millivolt.

Schaltet man 300 Elemente, von denen jedes eine elektromotorische Kraft von 1 Volt hat, hintereinander oder in Serie und verbindet den einen Pol dieser Batterie mit der Erde, den andern mit einem Kügelchen von 1 cm Radius, so befindet sich auf diesem Kügelchen eine elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge. (Elektrizität I. S. 32.)

Es ist dann auch (Elektrizität I. S. 34) 1 Coulomb

= 1 Ampère mal eine Sekunde. Da 1 Volt \times 1 Coulomb = 10 000 000 Erg = $\frac{1}{9,81}$ mkg und es in der

Praxis nicht bloß auf die geleistete Arbeit sondern auf den Effekt d. h. auf die in 1 Sekunde geleistete Arbeit ankommt, so rechnet man auch in der Elektrizitätslehre vielfach mit dem Effekt. Als Einheit des Effekts hat man den Namen Watt eingeführt. 1000 Watt heißen 1 Kilowatt. 1 Watt (Günther II. S. 51)

ist gleich 1 Volt mal 1 Ampère = $\frac{1}{9,81}$ mkg in jeder

Sekunde. Nun entsprechen 75 mkg in der Sekunde einer Pferdestärke; daher ist 1 Watt = 10 000 000 Erg

pro Sekunde = $\frac{1}{9,81 \cdot 75} = \frac{1}{736}$ Pferdestärke. Diese Aus-

führungen lassen es erklärlich erscheinen, woher die im ersten Teile der „Elektrizität“ angeführten großen Zahlen für die elektrischen Einheiten stammen; sie rühren hauptsächlich daher, daß die Arbeitseinheit im absoluten Maßsystem, nämlich das Erg, so klein ist im Verhältnis zu dem in der Praxis gebräuchlichen Maß des Meterkilogramms.

Zur Erzeugung einer Wärmeeinheit (Geigel, Die Wärme. Bücher der Naturw. Bd. 10, S. 32) sind 42 700 Millionen Erg oder 4270 Watt notwendig. Da 1 Watt = 1 Volt mal 1 Ampère und 1 Volt = 1 Ampère mal 1 Ohm, so ist 1 Watt = 1 Ampère mal 1 Ampère mal 1 Ohm, d. h. die durch einen elektrischen Strom erzeugte Wärme ist dem Quadrat der Stromstärke proportional; diese Wärme wird auch Joulesche Wärme

(Günther, Gesch. d. Naturw. II. S. 119) genannt. (Vgl. auch Geigel, Die Wärme. S. 110 und 113.)

Die statische Elektrizität unterscheidet sich von der galvanischen oder dynamischen Elektrizität dadurch, daß sie zwar eine sehr hohe Spannung, aber nur eine ganz geringe Menge besitzt, während die dynamische Elektrizität eine große Elektrizitätsmenge von geringer Spannung mit sich führt, die erst durch geeignete Vorrichtungen z. B. Hintereinanderschalten von Elementen auf eine höhere Spannung gebracht werden kann.

Die bei Gewittern durch einen Blitz zum Ausgleich gelangende Elektrizität kann bis eine Milliarde Volt und 20 000 Ampère betragen. Dagegen beträgt die Elektrizitätsmenge wegen der außerordentlich kurzen Zeit der Entladung nur bis zu 100 Coulomb.

Die drei Größen: Stromstärke, elektromotorische Kraft und Widerstand sind durch das Ohmsche Gesetz miteinander verbunden. Deshalb braucht man nur für zwei von den Größen die Einheit festzustellen, da sich dann die dritte aus den beiden berechnen läßt. Man hat für die Praxis die Einheit der Stromstärke und des Widerstandes bestimmt, so daß sie jederzeit reproduzierbar sind. Der Strom von 1 Ampère liefert in einer Sekunde 0,1740 ccm Knallgas von normalem Druck und normaler Temperatur oder er scheidet 0,32929 mg Kupfer oder 1,118 mg Silber ab.

Es war nicht von vornherein vorauszusehen, daß die Stromstärke proportional der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Widerstand ist. Durch Versuche ist aber diese Beziehung festgestellt wor-

den. Der Widerstand eines Leiters ist zunächst abhängig vom Material des Leiters. Am besten leiten die Elektrizität Silber und Kupfer. Platin leitet die Elektrizität 9mal schlechter und Quecksilber 63mal schlechter als Silber, Gaskohle noch 50mal schlechter als Quecksilber, und trotzdem ist Gaskohle noch ein ganz guter Elektrizitätsleiter, wie aus dem S. 33 angeführten Versuch hervorgeht. Außer von dem Material ist der Widerstand eines Drahtes abhängig von seinem Querschnitt. Es ist einleuchtend, daß ein dicker Draht der Elektrizität viel leichter den Durchgang gestattet als ein dünner, da man sich einen dicken Draht aus mehreren dünnen Drähten zusammengesetzt denken kann. Schließlich ist der Widerstand eines Drahtes noch abhängig von seiner Länge. Je länger ein Draht ist, desto größer ist der Widerstand, den er dem Durchgang der Elektrizität entgegensetzt. Bezeichnet man daher den Widerstand eines Drahtes mit R , seine Länge mit l und seinen Querschnitt mit q , so ist $R = K \frac{l}{q}$, wo K den spezifischen Widerstand des Drahtes, d. h. den Widerstand des Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bedeutet. Der reziproke Wert des spezifischen Widerstandes wird spezifische Leitungsfähigkeit genannt, so daß die spezifische Leitungsfähigkeit $= \frac{1}{K}$. Bei steigender Temperatur nimmt der Widerstand der Metalle zu, der Widerstand der Kohle ab, der Widerstand einiger Legierungen, z. B. des Konstantans bleibt wenigstens innerhalb gewisser Tem-

peraturgrenzen unverändert. Beträgt der Widerstand eines Kohlenfadens einer Glühlampe im kalten Zustand 800 Ohm, so ist sein Widerstand im leuchtenden Zustand 400 Ohm. Hat der Metallfaden einer Metallfadenglühlampe im kalten Zustand 4,5 Ohm, so ist sein Widerstand beim Leuchten 25 Ohm. In der nächsten Nähe des absoluten Nullpunktes (Geigel, Die Wärme. Bücher d. Naturw. Bd. 10, S. 29) wird der Widerstand einzelner Metalle wahrscheinlich Null werden, wie sich aus den Messungen bei tiefen Temperaturen ergibt. Die Leitungsfähigkeit eines Kubikzentimeters Schwefelsäure bei 0° ist 0,5 bei 30° beträgt sie 0,9. Besondere Eigentümlichkeit zeigt das Selen, das zur Schwefelgruppe gehört. Selen hat, wenn es belichtet wird, einen kleineren Widerstand, als wenn es sich im Dunkeln befindet. Im Dunkeln hat eine Selenzelle von 15 qcm Oberfläche einen Widerstand von 30 Ohm, bei einer Belichtung mit 20 000 Kerzen einen solchen von 6 Ohm, wenn die Sonne darauf scheint, nur noch 1 Ohm. Man kann aber auch Zellen aus Selen herstellen, deren Widerstand bei Belichtung bis auf $\frac{1}{100}$ des Wertes sinkt, den es im Dunkeln hat.

Um einen Widerstand messen zu können, braucht man zunächst eine Einheit, ebenso wie man zur Messung der Länge einer Strecke einen Meterstab nötig hat. Obwohl nun als Widerstandseinheit der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1,063 m Länge und 1 qmm Querschnitt festgesetzt wurde, eignet sich das Quecksilber aus leicht begreiflichen Gründen doch nicht für die Praxis. Man verwendet in der Praxis viel-

mehr einen Draht aus Manganin, der in eine mit Petroleum gefüllte Dose eingebettet ist. Durch Vergleichung mit einem Quecksilberwiderstand hat man bestimmt, daß ein Manganindraht von 1 qmm Querschnitt eine Länge von 2 m haben muß, damit sein Widerstand bei einer bestimmten Temperatur 1 Ohm beträgt. Für die Praxis hat man ähnlich wie man beim Abwiegen von Gebrauchsgegenständen einen Gewichtssatz benutzt, eine Reihe von Widerständen konstruiert, die man einzeln oder hintereinander schalten

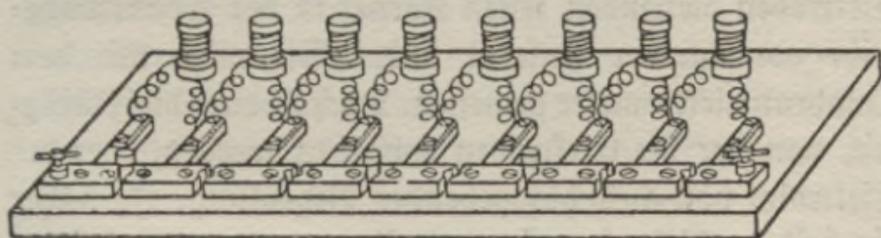


Fig. 24.

kann. Fig. 24 zeigt eine Reihe solcher Widerstände und zwar in offener Form. Gewöhnlich sind die Widerstandsdrähte auf Spulen aufgewickelt und in einem Kasten untergebracht. Zwischen je zwei Metallschienen ist eine solche Widerstandsspule eingeschaltet. Die Metallschienen können durch Metallstöpsel zu einer einzigen Schiene verbunden werden. Wird ein Stöpsel herausgezogen, so ist der Strom gezwungen, seinen Weg durch die zwischen die Metallschienen eingeschaltete Spule zu nehmen.

Da bei der Bestimmung der Stromstärke eines galvanischen Elementes auch sein innerer Widerstand berücksichtigt werden muß, so lautet das Ohmsche Gesetz in allgemeiner Form:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Innerer Widerstand} + \text{äußerer Widerstand}}$$

wo man unter äußerem Widerstand den Widerstand versteht, der von dem Draht, der die beiden Pole eines Elementes oder einer Batterie verbindet, hervorgebracht wird. Die Brauchbarkeit eines galvanischen Elementes für gewisse Zwecke hängt wesentlich davon ab, daß sein innerer Widerstand möglichst klein ist.

Die elektromotorische Kraft eines galvanischen Elementes ist davon abhängig, wie weit die beiden als Elektroden dienenden festen Körper in der Spannungsreihe voneinander entfernt sind. Sie wird mit dem Quadrantelektrometer gemessen. Doch ist auch die Flüssigkeit, von der die Elektroden umgeben werden, oder der Elektrolyt von ausschlaggebender Bedeutung. Je näher die beiden Elektroden in der Spannungsreihe beieinander stehen, desto geringer ist die elektromotorische Kraft eines Elementes. Deshalb verwendet man als Elektroden zum Aufbau eines Elementes solche Körper, die möglichst weit in der Spannungsreihe voneinander entfernt sind, z. B. Zink und Kohle. Magnesium läßt sich aber aus dem Grunde nicht verwenden, weil es sowohl von Säuren als auch von Aznatron sofort zerfressen wird.

Zur Messung der Stromstärke kann eine der durch einen elektrischen Strom hervorgebrachten Wirkungen benutzt werden. Verwendet man z. B. die in Fig. 16 abgebildete Vorrichtung und schickt den Strom eines galvanischen Elementes in die Drahtspule, so wird der Zylinder aus weichem Eisen in die Spule hineingezogen.

Schaltet man zwei Elemente hintereinander, so beobachtet man, daß der Eisenzylinder noch tiefer in die Spule hineingezogen wird. Aus dieser Erscheinung kann man einen Schluß auf die Stromstärke machen und sie wird auch in der Praxis verwendet, um Stromstärken zu messen, da die elektrolytischen Methoden aus leicht begreiflichen Gründen sich für rasche Ablesung nicht eignen. Bringt man an dem Eisenzylinder eine Vorrichtung an, die bequem erkennen läßt, wie tief er in die Spule hineingezogen wurde, so hat man einen Apparat, um Stromstärken miteinander vergleichen zu können. Damit man die kleinen Bewegungen, die der Eisenzylinder ausführt, leichter wahrnehmen kann, wird an ihm eine Hebelübersezung angebracht, die auf einen Zeiger wirkt, der sich vor

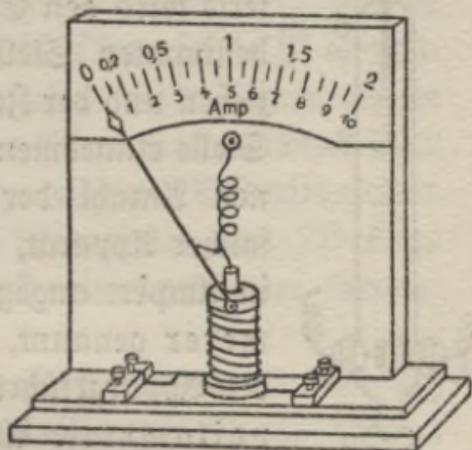


Fig. 25.

einer Skala bewegt, wie aus Fig. 25 ersichtlich ist. Der Apparat kann in der Weise geeicht werden, daß man in einen Stromkreis einen Wasserzersetzungsgesäß (Fig. 26) einschaltet. Das Gefäß G und die graduierte Glasröhre R sind mit Wasser gefüllt, dem einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, da reines Wasser den elektrischen Strom nicht leitet. Sowohl an A als auch an B befindet sich im Innern der Glasröhre ein Platinblech; der Abstand der Platin-

bleche voneinander beträgt einige Millimeter. A und B sind die Zuleitungsdrähte, die mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden sind. Wird der Strom geschlossen, so tritt eine Zersetzung des Wassers ein; und man mißt die Menge des in einer Sekunde entwickelten Knallgases an der Skala S; T ist ein in die Glasröhre eingeschmolzenes Thermometer. Durch diesen

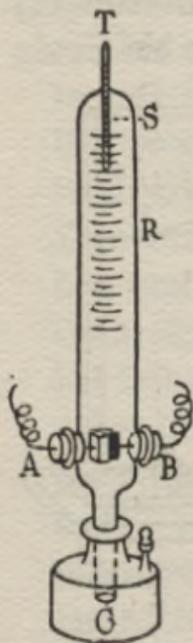


Fig. 26.

Apparat erhält man nach S. 52 die Stromstärke in Ampère. Die gleiche Batterie wird den Eisenzylinder bis zu einer bestimmten Stelle in die Spule hineinziehen und der Zeiger wird eine bestimmte Stelle einnehmen, die der vorhin gefundenen Anzahl der Ampère entspricht; ein solcher Apparat, an dem die Stromstärke in Ampère angegeben ist, wird Ampèremeter genannt, der in Fig. 26 abgebildete Apparat führt den Namen Knallgasvoltameter. Außer dem Knallgasvoltameter werden noch Silber- und Kupfervoltameter zur Eichung der Ampèremeter benutzt. Bei diesen Voltametern wird die Menge des in einer Sekunde an dem

negativen Pole eines sekundären Elementes, dessen Elektroden aus Platin bestehen, niedergeschlagenen Silbers oder Kupfers gemessen.

Wenn man als Elektroden in einem Wasserzersetzungsgesetzapparat zwei Platindrähte benutzt und einen elektrischen Strom hindurchleitet, so erhält man in einer bestimmten Zeit eine gewisse Menge Knallgas. Nimmt

man einen Wasserzersetzungsgapparat, der statt der Platin-
drähte Platten aus Platin enthält so ist bei sonst
gleichen Umständen die in derselben Zeit entwickelte
Knallgasmenge größer. Schaltet man jedoch die beiden
Knallgasentwickler hintereinander in einen und den-
selben Stromkreis ein, so erhält man in beiden Appa-
raten die gleiche Menge Knallgas. Derselbe Strom
zersetzt also in derselben Zeit immer die gleiche Menge
Wasser. Schaltet man in den äußeren Stromkreis
einmal einen Widerstand von 10 Ohm, ein zweites
Mal einen Widerstand von 20 Ohm ein, so ist die ent-
wickelte Knallgasmenge im zweiten Falle kleiner als im
ersten Fall. Ebenso zeigt ein Ampèremeter, wenn man
in den äußeren Stromkreis zuerst einen Widerstand von
10 Ohm und dann einen Widerstand von 20 Ohm
einschaltet, im zweiten Fall eine geringere Strom-
stärke ein.

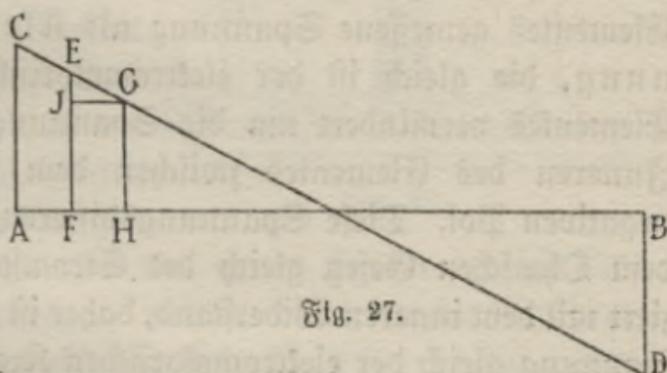
Der innere Widerstand eines Elementes läßt sich
nicht in der einfachen Weise bestimmen wie ein äußerer
Widerstand. Wenn man jedoch die elektromotorische
Kraft eines Elementes kennt, so kann der innere Wider-
stand nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden. Doch
erhält man als Wert für den inneren Widerstand ver-
schiedene Resultate, wenn der äußere Widerstand und
damit die Stromstärke geändert wird. Die hierzu not-
wendigen Messungen werden mit Präzisionsinstrumen-
ten — sogenannten Milliampèremetern — ausgeführt,
die nach dem Drehspulenprinzip konstruiert sind. Der
innere Widerstand eines Elementes ist keine konstante
Größe, sondern er ändert sich mit der Stromstärke.

Die Trockenelemente der Firma Siemens und Halske (Günther II. S. 169), wie sie in der Telephonie benutzt werden, besitzen einen inneren Widerstand von 0,1—0,3 Ohm, ein großer Akkumulator einen solchen von 0,005 Ohm; ein Daniell'sches Element von 20 cm Höhe hat einen inneren Widerstand von 1—1,5 Ohm.

Bei den Messungen hat man häufig Ströme zu schließen und zu unterbrechen. Deshalb wurden eigene Apparate, sogenannte Stromschlüssel, konstruiert, womit rasch ein Stromschluß oder eine Stromunterbrechung hervorgebracht werden kann. In seiner einfachsten Form besteht ein solcher Stromschlüssel aus einem Paraffinkloß, in den zwei Näpfe eingebohrt sind, die mit Quecksilber gefüllt werden. Durch das Paraffin sind Kupferdrähte gesteckt, die in das Quecksilber hineinragen, und an denen sich die Leitungsdrähte zu den Polen des Elementes vermittels Klemmschrauben befestigen lassen. Mit einem Metallbügel, den man in die Quecksilbernäpfe eintaucht, kann der Strom geschlossen oder umgekehrt wieder unterbrochen werden. Auf S. 16 ist festgestellt worden, daß die freie Spannung in einem Leiter abnimmt, je weiter man sich von dem positiven Pol eines galvanischen Elementes entfernt. Da die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines Leitungsdrahtes die Ursache ist, daß ein elektrischer Strom entsteht, so wird sich auch in einem Leitungsdraht der Spannungsabfall in der Form zeigen lassen, daß die Spannungsdifferenz kleiner wird, je näher zwei Punkte auf dem Leitungsdraht beieinander liegen. In Fig. 27 ist die Spannungsdifferenz zwischen F und H durch

die Strecke EJ dargestellt. Der durch diese Strecke dargestellte Spannungsabfall ist die Ursache, daß zwischen F und H ein elektrischer Strom verläuft. Bezeichnet man diese Spannungsdifferenz mit Δ , den Widerstand des Leitungsdrahtes zwischen F und H mit R und die Stromstärke mit I, so ist nach dem Ohmschen Gesetz $\Delta = I \cdot R$. Da gleiche Strecken eines Leitungsdrahtes auch den gleichen Widerstand besitzen, so läßt sich der Widerstand des Stückes FH berechnen, wenn man den Widerstand

und die Länge des Leitungsdrahtes AB kennt. Ist I gemessen worden, so läßt sich Δ berechnen und umgekehrt.



Wird Kupfer in Schwefelsäure eingetaucht, so hat das Kupfer ein höheres Potential als die Schwefelsäure und die Schwefelsäure ein höheres Potential als ein in die Schwefelsäure eingetauchtes Zinkstück. An der Berührungsfläche des Kupfers mit der Schwefelsäure tritt ein Sprung in der Spannung ein, ebenso an der Berührungsstelle des Zinks mit der Schwefelsäure, während die Spannung in dem Leitungsdraht AB gleichmäßig abfällt. Verbindet man den positiven Pol eines galvanischen Elementes mit dem negativen Pol dieses Elementes durch einen Leitungsdraht, so treibt der Spannungsunterschied zwischen den beiden

Klemmen des Elementes die Elektrizität durch den Schließungsdraht; aber die elektromotorische Kraft des Elementes treibt die Elektrizität durch den Schließungsdraht und durch die Flüssigkeit. Die an den Polen gemessene Spannungsdifferenz ist daher kleiner als das Resultat, das sich ergibt, wenn man von der freien positiven Spannung des Kupfers die freie negative Spannung des Zinks subtrahiert. Dies läßt sich mit dem Quadrantelektrometer zur Anschauung bringen. Man bezeichnet die an den Klemmen eines galvanischen Elementes gemessene Spannung als Klemmenspannung, die gleich ist der elektromotorischen Kraft des Elementes vermindert um die Spannungsdifferenz im Inneren des Elementes zwischen dem positiven und negativen Pol. Diese Spannungsdifferenz ist aber nach dem Ohmschen Gesetz gleich der Stromstärke multipliziert mit dem inneren Widerstand, daher ist die Klemmenspannung gleich der elektromotorischen Kraft vermindert um das Produkt aus der Stromstärke und dem inneren Widerstand.

Das Quadrantelektrometer eignet sich nur zu Messungen von ganz geringen Spannungen. In der Praxis werden jedoch ausschließlich höhere Spannungen gebraucht, um größere Wirkungen zu erzielen, und deshalb wurden Apparate konstruiert, Voltmeter genannt, (Fig. 28) — nicht zu verwechseln mit Voltmeter — die sich in ihrem Außern nicht von einem Ampèremeter unterscheiden. Während aber die Spule eines Ampèremeters wenig Windungen eines dicken isolierten Kupferdrahtes besitzt, ist die Spule eines Voltmeters mit einem

dünnen isolierten Kupferdraht in vielen Windungen umwickelt und besitzt einen Widerstand von etwa 100 bis 3000 Ohm.

Wie mit einem Voltmeter die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten

einer Leitung gemessen wird, ergibt sich aus den von Gustav Kirchhoff (Günther, Geschichte d. Naturw. II. S. 158) aufgestellten Sätzen über die Stromverzweigung. Das erste Gesetz lautet: Wenn in einem Punkt A (Figur 29) mehrere Drähte zu-

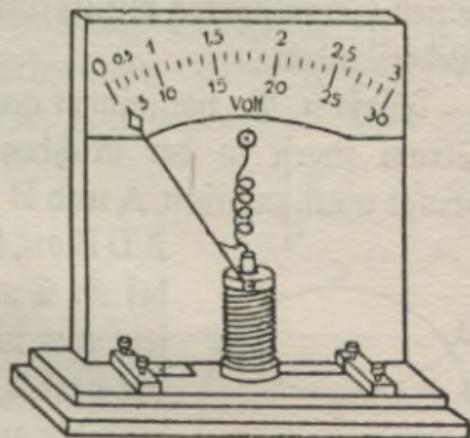


Fig. 28.

sammenstoßen, die alle von einem Strom durchflossen sind, und wenn i_1 , i_2 und i_3 die in diesen Drähten herrschenden Stromstärken sind, so ist $i_1 = i_2 + i_3$. Die auf die Drähte gerichteten Pfeile geben die Stromrichtung an. Die Richtigkeit dieser Gleichung folgt aus der Überlegung, daß keine Anstauung der Elektrizität stattfindet; deshalb wird bei A in jeder Sekunde ebensoviel Elektrizität abfließen wie zuströmt. Die Summe der Stromstärken der

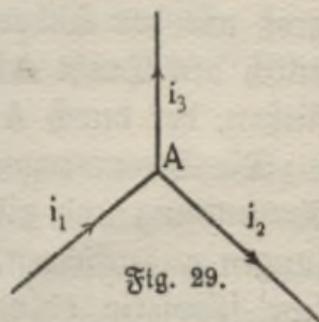


Fig. 29.

zum Knotenpunkt A hinfließenden Ströme wird daher gleich sein der Summe der abfließenden Stromstärken. Das zweite Kirchhoffsche Gesetz, das eine Erweiterung des Ohmschen Gesetzes darstellt, lautet: Wenn in einem

geschlossenen Stromkreis verschiedene elektromotorische Kräfte und in den einzelnen Leitern verschiedene Stromstärken auftreten, so ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich der Summe der Produkte der einzelnen Stromstärken multipliziert mit den entsprechenden Widerständen.

Fließt z. B. von einem galvanischen Element E ein Strom zuerst in der Richtung ACB (Fig. 30) und bringt man zwischen A und B noch einen zweiten Draht

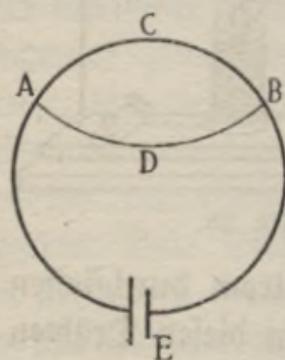


Fig. 30.

ADB an, so verzweigt sich der Strom bei A. Durch den Draht ACB fließt jetzt nur noch ein Teil des Stromes, der vorher durchgeflossen war, während der andere Teil durch den Draht ADB fließt und zwar wird durch den Draht eine größere Elektrizitätsmenge fließen, der den geringeren Widerstand hat. Ist z. B. der Widerstand des Drahtes ADB doppelt so

groß wie der Widerstand des Drahtes ACB, so wird durch den Draht ADB nur die Hälfte des Stromes fließen, der durch ACB fließt.

Die Stromverzweigung findet in der Praxis häufige Anwendung und gibt die Möglichkeit verschiedene Messungen auszuführen, die ohne Stromverzweigung nur sehr schwierig oder gar nicht vorgenommen werden könnten. Fließt z. B. von einem galvanischen Element E ein Strom durch den Draht AB, der einen Widerstand von 1 Ohm haben soll, und ist in der aus Fig. 31 ersichtlichen Weise bei C ein Galvanometer eingeschaltet,

so sagt man, das Galvanometer liegt im Nebenschluß. Ist der Widerstand von A über C nach B z. B. 999 Ohm, so kann man sich den Widerstand von AB durch 999 parallel geschaltete Drähte dargestellt denken, von denen jeder 999 Ohm besitzt und das System ACB ist ein Draht von 999 Ohm Widerstand. Man hat also 1000 parallel geschaltete Drähte, von denen jeder 999 Ohm Widerstand hat; in AB

wird also $\frac{999}{1000}$ und in

ACB $\frac{1}{1000}$ des Stromes

fließen. Man kann daher, wenn der durch AB fließende Strom die Stärke von 1 Ampère hat, mit

dem Galvanometer $\frac{1}{1000}$ Ampère oder 1 Milliampère

messen. Auch das Projektionsgalvanometer läßt sich als überaus empfindliches Ampèremeter verwenden, wenn es geeicht ist; es zeigt noch Ströme von 10^{-10} Milliampère Stärke an.

Auf den Gesetzen der Stromverzweigung beruht die Messung von Spannungsdifferenzen in einem Leitungsdraht, der von einem Strom durchflossen ist. Fließt von der Batterie B (Fig. 32) ein Strom durch den Leitungsdraht AC, und soll die zwischen den Punkten D und E herrschende Spannungsdifferenz gemessen werden, so schaltet man zwischen D und E z. B. ein nach dem Drehspulenprinzip konstruiertes Voltmeter G

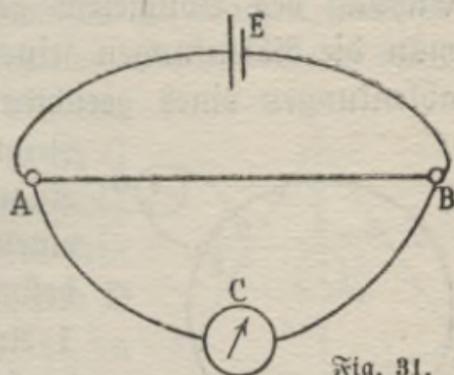


Fig. 31.

ein, das einen sehr großen Widerstand z. B. 3000 Ohm besitzt. Durch das Voltmeter fließt dann nur ein so verschwindender Teil des Hauptstromes, daß dieser Teil vernachlässigt werden kann, weshalb in der Stromleitung ADEC keinerlei Änderung hervorgebracht wird. Der Ausschlag des Voltmeters ist ein Maß für die zwischen D und E herrschende Spannungsdifferenz. Die Eichung des Voltmeters geschieht in der Weise, daß man die Ablenkungen seines Zeigers mit den Zeigerablenkungen eines geeichten Ampèremeters vergleicht.

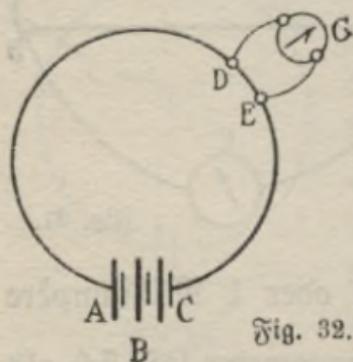


Fig. 32.

Zeigt ein in einen Stromkreis eingeschaltetes Ampèremeter, das einen Widerstand von 1 Ohm besitzt, eine Stromstärke von 1 Ampère an, so wird ein in denselben Stromkreis an Stelle des Ampèremeters eingeschaltetes Voltmeter von 3000 Ohm Widerstand einen bestimmten

Ausschlag angeben, der mit $\frac{1}{3000}$ Volt oder $\frac{1}{3}$ Millivolt bezeichnet werden muß, wenn das Voltmeter im Nebenschluß liegt. Die in der Praxis verwendeten Voltmeter sind fast ausschließlich auf Spannung geeichte Ampèremeter.

Überbrückt man die Stromverzweigung, so erhält man das unter dem Namen der Wheatstone'schen Brücke bekannte Stromlaufschema. Der von dem Element E (Fig. 33) ausgehende Strom verzweigt sich bei A. Ein Teil des Stromes fließt über C nach B und zum Element zurück. Der andere Teil des Stromes fließt über D und B

zum Element zurück. Wird noch C und D durch einen Leitungsdraht, in den man zweckmäßig ein Galvanometer G einschaltet, verbunden, so entsteht eine neue Stromverzweigung. CD führt den Namen Brücke. Ist r_1 der Widerstand des Drahtes AC, r_2 der des Drahtes BC, r_3 der des Drahtes BD und r_4 der Widerstand des Drahtes AD, so gelingt es leicht, durch passende Wahl dieser Widerstände die Brücke CD stromlos zu machen, weshalb das in die Brücke eingeschaltete Galvanometer keinen Ausschlag anzeigt, da sich die von C nach D und die von D nach C fließenden Zweigströme gegenseitig aufheben. Durch CD wird kein Strom fließen, wenn in C und D die gleiche Spannung herrscht, da ja der geringste Spannungsunterschied zwischen zwei Punkten ein Fließen der Elektrizität vom höheren zum niederen Potential veranlaßt. Herrscht in dem Punkt A die

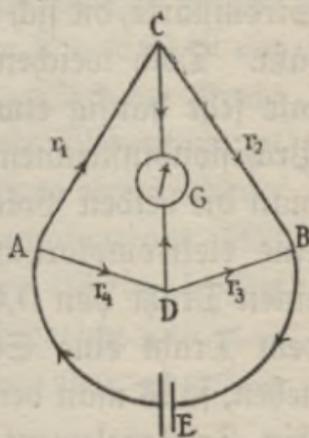


Fig. 33.

Spannung E_1 und in dem Punkte C die Spannung E_2 , im Punkte D die Spannung E_3 und im Punkte B die Spannung E_4 , so ist nach dem Ohmschen Gesetz: $E_1 - E_2 = r_1 i_1$; $E_2 - E_4 = r_2 i_2$; $E_1 - E_3 = r_4 i_4$ und $E_3 - E_4 = r_3 i_3$, wo i_1 , i_2 , i_3 und i_4 die den Widerständen r_1 , r_2 , r_3 und r_4 entsprechenden Stromstärken bedeuten. Da in C und D die gleiche Spannung herrschen soll, so ist $E_2 = E_3$ also auch $r_1 i_1 = r_4 i_4$ und $r_2 i_2 = r_3 i_3$. Wenn durch CD kein Strom fließt, so kann man sich das Verbindungsstück CD ganz fort-

denken und hat dann, da die Stromstärke in allen Punkten eines Drahtes die nämliche ist, $i_1 = i_2$ und $i_3 = i_4$, mithin ist $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_3}$. In fast allen Apparaten zur Messung von Widerständen ist eine Wheatstonesche Brücke eingebaut, die das Vergleichen von Widerständen in rascher und bequemer Weise ermöglicht.

Werden mehrere Elemente hintereinander oder parallel geschaltet, so erhält man in jedem Falle eine bestimmte Stromstärke, die sich nach dem Ohmschen Gesetz berechnen läßt. Doch weichen die vorausberechneten Resultate sehr häufig etwas von den Messungen ab, die mit Präzisionsinstrumenten ausgeführt werden. Verbindet man die beiden Pole eines galvanischen Elementes, das eine elektromotorische Kraft von 1 Volt besitzt, durch einen Draht von 0,001 Ohm Widerstand, so müßte in dem Draht eine Stromstärke von 1000 Ampère entstehen, falls man den inneren Widerstand vernachlässigt. Ein Trockenelement, das eine elektromotorische Kraft von 1,5 Volt und einen inneren Widerstand von 0,15 Ohm besitzt, kann als Maximum einen Strom von $\frac{1,5}{0,15} = 10$ Ampère liefern. Werden die beiden

Pole eines galvanischen Elementes durch einen Draht von sehr geringem Widerstand verbunden — eine solche Verbindung wird mit dem Namen Kurzschluß bezeichnet — so wird das Element in kurzer Zeit unbrauchbar. Um mit einer galvanischen Batterie die günstigsten Wirkungen zu erhalten, werden bei einem großen äußern Widerstand die Elemente hinter-

einander oder in Serie, bei einem kleinen äußern Widerstand jedoch parallel geschaltet. Das Maximum der Stromstärke erreicht man mit der Schaltung, bei der der innere Widerstand dem äußeren möglichst gleich ist.

Um ganz geringe Temperaturschwankungen zu messen, benutzt man das von Langley (Günther II. S. 212) erfundene Bolometer (Geigel, Die Wärme. S. 101). Es besteht aus einem 0,01 mm dicken beruhten Platindraht, der in einen Zweig einer Wheatstoneschen Brücke (Fig. 33) eingeschaltet wird. Zwischen C und D ist ein Projektionsgalvanometer eingeschaltet. Wird der Draht des Bolometers erwärmt, so nimmt sein Widerstand zu und das Galvanometer zeigt die Zunahme dieses Widerstandes, mithin auch die Temperaturzunahme an. Mit Hilfe der Gesetze der Wärmestrahlung (Geigel, Die Wärme. S. 93 ff.) wird der Apparat geeicht und man kann mit ihm noch eine Temperaturzu- oder -abnahme von $0,00001^{\circ}$ erkennen.

Ist zwischen den beiden Polen eines galvanischen Elementes kein Draht, sondern die Luft eingeschaltet, so ist der äußere Widerstand unendlich groß. Verbindet man die beiden Pole durch einen Metalldraht, so wird der unendlich große Widerstand verkleinert; daher wird in diesem Falle eigentlich Widerstand nicht ein-, sondern ausgeschaltet. Der Widerstand einer Flüssigkeit läßt sich nicht nach den bisher beschriebenen Methoden bestimmen, da ja die Flüssigkeit durch den elektrischen Strom zerlegt wird. Zur Messung des Widerstandes von Flüssigkeiten schaltet man statt des Galvanometers

in die Brücke ein Telephon und schiebt durch die Flüssigkeit einen durch einen Induktionsapparat (S. 78) hervorgebrachten Wechselstrom. Werden die Widerstände so abgeglichen, daß $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_3}$, wo r_3 den Widerstand der Flüssigkeit bezeichnen mag, so hört man in dem Telephon keinen Ton.

IV. Erregung der Elektrizität durch Wärme und Druck.

Ein elektrischer Strom bringt an der Lötstelle zweier Metalle eine besondere Erwärmung oder Abkühlung hervor, je nach der Richtung, in der er verläuft. Dies läßt sich an einem Stab zeigen, der aus Wismut und Antimon zusammengesetzt ist; fließt der Strom vom Wismut zum Antimon, so wird die Lötstelle abgekühlt, fließt er vom Antimon zum Wismut, so wird sie erwärmt. Diese Erscheinung heißt nach ihrem Entdecker Peltier die Peltiersche Wirkung. Umgekehrt bringt eine äußere Erwärmung oder Abkühlung der Lötstelle zweier zu einem geschlossenen Kreis verbundenen Metalle einen elektrischen Strom hervor. Stellt man einen geschlossenen Metallbügel, der aus einem Wismut- und einem Kupferstreifen besteht und so gebogen ist, daß die beiden Metallstreifen ihrer Länge nach parallel laufen, in der Ebene des magnetischen Meridians auf und bringt innerhalb des Bügels zwischen dem Wismut- und dem Kupferstreifen eine Deklinations-

nadel auf einer Spitze an, so wird die Magnetnadel abgelenkt, wenn man das eine Ende des Bügels, an dem die beiden Metalle aufeinander gelötet sind, erwärmt. Aus der Ablenkung der Magnetnadel ergibt sich die Richtung, in der der Strom fließt, und zwar fließt er von dem warmen Wismut durch die warme Lötstelle zum Kupfer und von diesem durch die kalte Lötstelle zurück. Kühlt man eine Lötstelle ab, so daß sie eine niederere Temperatur besitzt als die andere, so fließt der Strom umgekehrt. Diese Erscheinung heißt Thermoelektrizität.

Man hat die Metalle der Reihe nach miteinander in thermoelektrische Verbindungen gebracht und sie in eine Reihe geordnet, so daß immer der positive Strom durch die erwärmte Lötstelle von dem vorhergehenden zum nachfolgenden Metall fließt. Diese thermoelektrische Spannungsreihe heißt: Wismut, Quecksilber, Platin, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Silber, Eisen, Antimon. Aus Wismut und Antimon hat man sog. Thermosäulen (Geigel, Die Wärme. Bücher der Naturwiss. Bd. 10, S. 97 f. und Fig. 17) zusammengestellt, deren Enden mit einem Galvanometer in bekannter Weise in Verbindung gebracht werden. Die gleichliegenden Lötstellen einer solchen Säule befinden sich alle auf einer Seite, so daß sie zugleich erwärmt oder abgekühlt werden. Werden diese Lötstellen erwärmt oder abgekühlt, so entsteht ein Strom, der durch das Galvanometer angezeigt wird. In der Praxis haben solche Thermosäulen wegen ihrer geringen elektromotorischen Kraft keine große Verbreitung gefunden; doch ist es in neuester Zeit gelungen, dadurch, daß man die

Sonnenstrahlen durch violettes Glas auf eine große Anzahl hintereinander geschalteter Thermoelemente wirken ließ, eine Akkumulatorenbatterie zu laden. Die Glasfläche des Apparates war 1,2 qm groß, unter ihr waren 900 Elemente in einer isolierenden Masse angebracht. Während einer zehnstündigen Sonnenbestrahlung erhielt man aus der Akkumulatorenbatterie genügenden Strom, um zwei Abende lang ein Haus mit mehreren 16kerzigen Glühlampen zu beleuchten. Ein Apparat mit 4,5 qm Glasfläche und 7200 Elementen gibt 240 Watt bei 12 Volt Spannung. Diese Ausbeute der Sonnenwärme und ihre Umwandlung in elektrische Energie kann aber noch nicht als befriedigend angesehen werden; ebensowenig ist es bis heute gelungen, die in der Kohle aufgespeicherte Wärmeenergie direkt in Elektrizität umzuwandeln.

Zur Messung von sehr hohen und sehr tiefen Temperaturen sind die Thermoelemente sehr geeignet.

Auch durch Druck oder Zug kann Elektrizität erzeugt werden. Eine Quarzplatte von 0,5 mm Dicke, 10 cm Länge und 1,5 cm Breite wird entsprechend geschnitten und oben und unten mit Metallkappen versehen; die Quarzplatte wird aufgehängt und unten eine Wagschale angebracht, die durch Gewichtsstücke beschwert werden kann. Auf beiden Längsseiten ist die Quarzplatte versilbert oder mit dünnem Stanniol belegt, das auf jeder Seite in der Mitte ausgeschnitten ist, so daß hier der Quarz keine Belegung besitzt; an diese Ausschnitte werden Leitungsdrähte gelegt, die zu einem Quadrantelektrometer führen. Wird die Wagschale belastet, so wird

der Quarz durch den Zug elektrisch. Diese Erscheinung heißt Piezoelektrizität des Quarzes; sie wird benutzt, um die von einer radioaktiven Substanz (Bugge, Strahlungsercheinungen. Büch. d. Naturwiss. Bd. 4) erzeugten schwachen Ströme zu messen.

Werden Kristalle erwärmt oder abgekühlt, so zeigen sie an bestimmten Stellen ihrer Oberfläche einen elektrischen Zustand. Diese Erscheinungen werden als pyroelektrische bezeichnet. Hankel (Günther II. S. 150) hat gezeigt, daß alle Kristalle die Erscheinungen der Pyroelektrizität aufweisen, wenn dies nicht durch Nebenumstände verhindert wird. Wird die Temperatur eines Kristalls bedeutend erhöht, so verschwinden die pyroelektrischen Erscheinungen vermutlich aus dem Grunde, weil der Kristall dadurch leitend wird.

V. Induktionserscheinungen.

1. Elektroinduktion.

Mit einem isolierten Kupferdraht AB (Fig. 34) von ungefähr 3 m Länge wird ein zweiter isolierter Kupferdraht A_1B_1 von der gleichen Länge in der Weise verbunden, daß man die beiden Drähte an einigen Stellen mit einem Faden zusammenbindet. Das Ende A des ersten Drahtes wird mit dem einen Pol E_1 eines galvanischen Elementes und das andere Ende B dieses Drahtes mit dem andern Pol E_2 durch einen Leitungsdraht verbunden. Sowohl von A_1 als von B_1 führt ein Draht zu einem Galvanometer G_1G_2 . In dem

Augenblick, in dem der Strom des Elementes geschlossen wird, entsteht in AB ein Strom, der den Namen Hauptstrom führt und dessen Richtung in der Figur durch einen Pfeil angedeutet ist. Obwohl nun der Draht A_1B_1 nicht in leitender Verbindung mit dem Draht AB ist, beobachtet man doch im Moment des Stromschließens eine Ablenkung der Galvanometernadel. Folglich verläuft in A_1B_1 ein Strom. Aus der Ablenkung der Galvanometernadel erkennt man, daß die Richtung des in A_1B_1 verlaufenden Stromes entgegengesetzt ist der Richtung des in AB verlaufenden Stromes, wie durch den Pfeil auf A_1B_1 ersichtlich gemacht ist. Die Galvanometernadel geht aber nach der Ablenkung sofort wieder in ihre Ruhelage zurück, d. h. der in A_1B_1 entstandene Strom dauert nur ganz kurze Zeit.

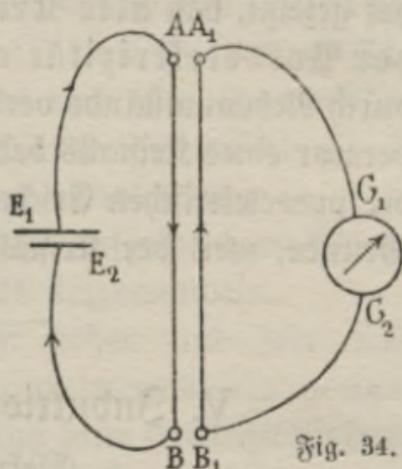


Fig. 34.

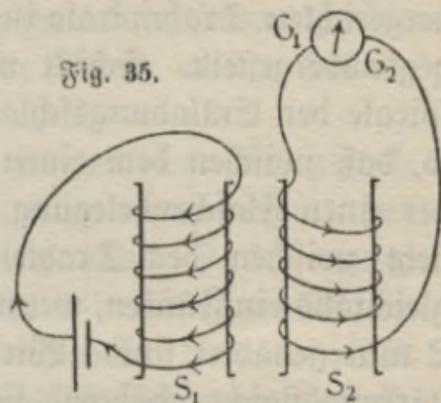
Dieser in A_1B_1 im Moment der Stromschließung entstehende Strom heißt Induktionsschließungsstrom und ist dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet. Läßt man den Hauptstrom geschlossen, so bleibt die Galvanometernadel in Ruhe. Öffnet man jetzt den Hauptstrom, so beobachtet man neuerdings einen Ausschlag der Galvanometernadel, aber nach der entgegengesetzten Seite wie vorhin, daher hat der nunmehr in A_1B_1 verlaufende Strom die entgegengesetzte Richtung des Induktionsschließungsstromes. Der jetzt in A_1B_1 entstandene

Strom heißt Induktionsöffnungsstrom, seine Richtung ist die gleiche wie die des Hauptstromes.

Aber nicht nur dann, wenn der Hauptstrom geschlossen oder geöffnet wird, entsteht in A_1B_1 ein Induktionsstrom, sondern auch dann, wenn man den schon bestehenden Hauptstrom durch Einschalten eines Widerstandes schwächt. Der jetzt entstandene Induktionsstrom hat die gleiche Richtung wie der Hauptstrom. Wird der Hauptstrom durch Verringerung des eingeschalteten Widerstandes verstärkt, so hat der entstehende Induktionsstrom die entgegengesetzte Richtung des Hauptstromes.

Statt der unbequemen Handhabung mit ausgespannten geraden Drähten verwendet man praktischer Spulen, die mit isoliertem

Fig. 35.



Kupferdraht umwickelt sind, sog. Induktionsspulen. Hat man zwei solche Induktionsspulen S_1 und S_2 (Fig. 35) und schickt durch die Spule S_1 , die Primärspule, einen elektrischen Strom, während die sekundäre Spule S_2 mit einem Galvanometer G_1G_2 in der aus der Figur ersichtlichen Weise verbunden ist, so erhält man in S_2 , ebenso wie vorhin, einen Induktionsschließungsstrom, dessen Richtung der des Hauptstroms entgegengesetzt ist; die Richtungen der beiden Ströme sind durch die Pfeile auf S_1 und S_2 angedeutet. Ebenso zeigt sich, wie vorhin, ein Induktionsöffnungsstrom in der Spule S_2 beim

Verschwinden des Hauptstromes in der Spule S_1 , dessen Richtung dieselbe ist wie die des Hauptstromes. In gleicher Weise erzeugt jede Verstärkung oder Schwächung des Hauptstromes in S_1 einen entsprechenden Induktionsstrom in S_2 .

Auch die elektrostatischen Erscheinungen bringen, wie Masson und Rieß (Günther II. S. 155) gezeigt haben, Induktionswirkungen hervor. Einer in ein ebenes Brett isoliert eingelassenen Drahtspirale mit zwei hervorstehenden Enden wird eine zweite ebenso hergerichtete Drahtspirale in geringem Abstand parallel gegenübergestellt. Schickt man durch die erste Drahtspirale den Entladungsschlag einer Verstärkungsflasche so, daß zwischen dem einen Enddraht der Spirale und der einen Flaschenbelegung ein Funken entsteht, so entsteht zwischen den Drahtenden der zweiten Spirale gleichfalls ein Funken, wenn sie einander bis auf 1 oder 2 mm genähert sind. Wird in der Nähe einer Verstärkungsflasche, während sie geladen wird, ein Blattelektroskop aufgestellt, so bemerkt man eine Divergenz der Aluminiumstreifen. Die Aluminiumstreifen fallen zusammen, wenn die Flasche entladen wird. Diese Erscheinung ist dem in Elektrizität I. S. 98 beim Gewitter beschriebenen Vorgang analog.

Nähert man der von einem elektrischen Strom umflossenen Spule S_1 die Spule S_2 , so entsteht in S_2 gleichfalls ein Induktionsstrom und zwar ist die Richtung dieses Induktionsstromes nach der Regel von Lenz (Günther II. S. 159), einem Spezialfall des Prinzipes von Le Chatelier-Braun und nach dem Gesetz, wo-

nach sich parallele und gleichgerichtete Ströme anziehen, parallele und entgegengesetzt gerichtete Ströme dagegen abstoßen, der Richtung des Stromes in der Primärspule entgegengesetzt. Das Prinzip von Le Chatelier-Braun lautet: Jede Einwirkung auf ein System, die dessen Gleichgewicht stört, ruft in dem System eine Gegenwirkung hervor, wodurch jene Einwirkung verringert wird. Aus den gleichen Gründen entsteht beim Entfernen der Induktionspule S_2 von der Induktionspule S_1 , während S_1 von einem elektrischen Strom umflossen ist, ein Induktionsstrom, der die nämliche Richtung hat wie der Strom in der Induktionspule S_1 .

Die Erfahrung zeigt, daß immer dann ein Induktionsstrom in einem Leiter entsteht, wenn dieser Leiter von Kraftlinien geschnitten wird. Nach S. 27 erzeugt ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht in seiner Umgebung Kraftlinien; treffen diese auf einen benachbarten Leiter, so entsteht in diesem ein Induktionsstrom. Beim Verschwinden des Hauptstromes ziehen sich die Kraftlinien wieder zurück und schneiden dabei noch einmal einen in ihrer Nähe befindlichen Leiter, wodurch neuerdings ein Strom entsteht. Aus diesem Grund wird man die stärksten Induktionsströme dann erhalten, wenn die Spulen so angeordnet werden, wie aus Fig. 36 zu ersehen ist, wo die sekundäre Spule vollständig von der primären Spule umschlossen ist. Die Induktionsströme können noch erheblich verstärkt werden dadurch, daß man in die Primärspule einen weichen Eisenkern oder besser ein Bündel Eisendrähte einbringt;

Durch den Primärstrom wird das Eisen magnetisch, so daß von dem Eisen gleichfalls Kraftlinien ausgehen, wodurch die Zahl der Kraftlinien vermehrt und deshalb eine verstärkte Wirkung hervorgebracht wird.

Bringt man in dem Stromkreis zwischen dem galvanischen Element und der Primärspule einen Stromunterbrecher an nach Art des Neeffschen Hammers (S. 34 f.), so entstehen in der Sekundärspule Induktions-Schließungs- und Öffnungsströme, die sich in dem nämlichen Rhythmus folgen, wie die Stromschließungen und Unterbrechungen des Primärstromes. Eine solche Vorrichtung führt den Namen Induktionsapparat.

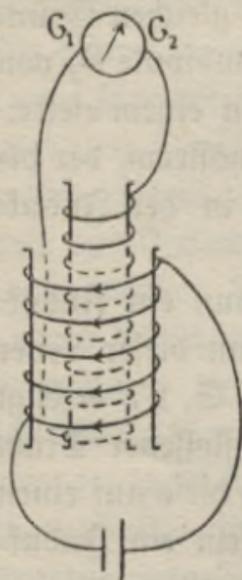


Fig. 36.

Nach den angeführten Versuchen muß in jeder Spule, auf die ein isolierter Kupferdraht aufgewickelt ist, ein Induktionsstrom entstehen, wenn in den Draht auf der Spule ein elektrischer Strom geschickt wird, da ja

die Drahtwindungen nahe beieinander liegen. Dieser in jeder Induktionsspule beim Schließen des Hauptstromes entstehende Induktions-schließungsstrom hat die entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom und wirkt daher diesem entgegen, wodurch das Anwachsen des Hauptstromes zu seiner vollen Stärke verzögert wird. Wird dagegen der Hauptstrom geöffnet, so verschwindet er plötzlich, und der dadurch entstehende Induktions-öffnungsstrom gelangt sofort in seiner vollen Stärke

zur Geltung. Solche Induktionsströme werden mit dem Namen Extraströme bezeichnet. Da man sich jeden Draht aus einem Bündel von Metallfasern zusammengesetzt denken kann, so werden auch in einem gerade ausgedehnten Draht Extraströme entstehen, wenn in ihm ein Strom geschlossen oder geöffnet wird.

Über die Existenz des Öffnungsextrastromes gibt nachstehender Versuch Aufklärung. In ein Brett (Fig. 37)

sind sechs Näpfe 1, 2, 3, 4, 5, 6 eingepohrt, die mit Quecksilber gefüllt werden. In dem Quecksilber des Napfes 1 endigt ein mit dem positiven Pol eines galvanischen Elementes, in dem Quecksilber

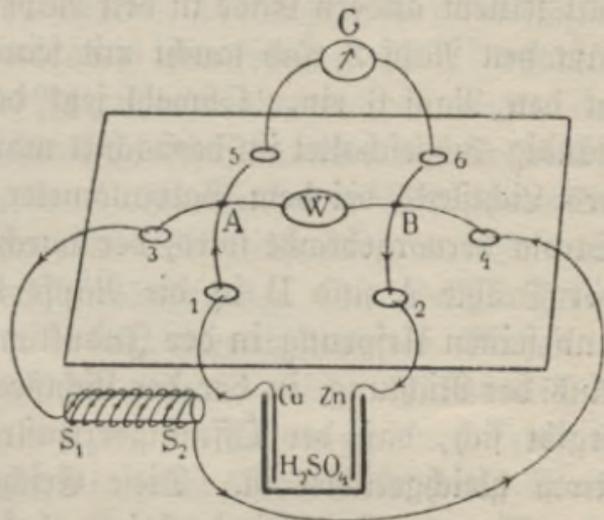


Fig. 37.

des Napfes 2 ein mit dem negativen Pol dieses Elementes verbundener Draht. Ein aus zwei durch die Isolation W getrennten Teilen bestehender Drahtbügel ist beweglich und endigt in den Napfen 3 und 4. Dieser Drahtbügel wird rechtwinklig von zwei andern mit je einem feiner Teile verbundenen Drahtbügeln überkreuzt, deren vordere Enden in die Napfen 1 und 2 tauchen, wie aus der Figur zu ersehen ist. Anfang und Ende der Induktionspule S_1S_2 sind mit den Napfen 3 und 4

durch Drähte verbunden; der von einem Element ausgehende Strom hat dann die in der Fig. 37 durch Pfeile angedeutete Richtung. Mit dem Napf 5 ist der Anfang und mit dem Napf 6 das Ende einer Galvanometerspule verbunden; das Magnetnadelssystem des Galvanometers G zeigt zunächst natürlich keinen Ausschlag an. Rippt man jetzt das Drahtbügelssystem um, so verläßt der Draht A den Napf 1 und taucht mit seinem andern Ende in den Napf 5, Draht B verläßt den Napf 2 und taucht mit seinem andern Ende in den Napf 6 ein. Obwohl jetzt das Element vollständig ausgeschaltet ist, beobachtet man eine Ablenkung des Lichtflecks bei dem Galvanometer, die durch einen Strom hervorgebracht wird, der durch das Eintauchen der Drähte A und B in die Nöpfe 5 und 6 entsteht und seinen Ursprung in der Induktionsspule S_1S_2 hat. Aus der Richtung, in der der Lichtfleck abgelenkt wird, ergibt sich, daß der Öffnungs-*Ertra*strom dem Hauptstrom gleichgerichtet ist. Diese Erscheinung ist unter dem Namen *Selbstinduktion* bekannt, und man versteht unter der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion das Verhältnis, in welchem die erzeugte elektromotorische Kraft des *Ertra*stroms zu der Geschwindigkeit steht, mit der die Stromstärke sich in der Spule pro Zeiteinheit ändert. Die Entstehung der *Ertra*ströme ist eine Folge des Prinzips von Le Chatelier-Braun, weshalb die Selbstinduktion von Poincaré als ein Beharrungsvermögen und von Wie als Trägheitswirkungen des Magnetfeldes bezeichnet wird.

Die Selbstinduktion ist eine Größe, die ebenso wie der Widerstand eines Drahtes von der Form, dem Querschnitt, der Länge und der Anzahl der Windungen auf der Spule, also nur von geometrischen Größen, aber nicht von der durch die Spule gehenden Stromstärke abhängt. Während aber der Widerstand eines Drahtes von dem Material abhängig ist, aus dem der Draht besteht, ist dies bei der Selbstinduktion nicht der Fall. Für Aluminium-, Kupfer-, Messingdrähte ist die Selbstinduktion (Induktanz) unter sonst gleichen Umständen immer dieselbe. Nur Eisendrähte machen wegen ihrer starken magnetischen Eigenschaften davon eine Ausnahme. Man hat immer den Zusammenhang: Elektromotorische Kraft des Extrastroms = Selbstinduktion mal Geschwindigkeit der Intensitätsänderung. Die Selbstinduktion von Drähten wird mit einer bestimmten Einheit gemessen, die 1 Henry genannt wird. Ist nämlich die Geschwindigkeit, mit der ein Strom in einer Spule sich ändert, so groß, daß in jeder Sekunde sich seine Stromstärke gerade um 1 Ampère ändert, so hat in Spulen, deren Form verschieden ist, der dadurch entstehende Extrastrom auch verschiedene elektromotorische Kraft. Eine Spule nun, in der die jetzt entstehende elektromotorische Kraft gerade 1 Volt beträgt, hat dann die Einheit der Selbstinduktion 1 Henry. Daraus folgt die Beziehung: $1 \text{ Volt} = 1 \text{ Henry mal } \frac{1 \text{ Ampère}}{1 \text{ Sekunde}}$.

Da in jeder Induktionsrolle, sobald in ihr ein elektrischer Strom entsteht oder verschwindet oder auch nur Änderungen in seiner Stärke erleidet, Induktions-

ströme entstehen, die den Hauptstrom beeinflussen, so ist man in bestimmten Fällen genötigt, Maßnahmen zu treffen, wodurch diese Induktionsströme aufgehoben werden. Dies wird dadurch erreicht, daß man einen Draht nicht in gewöhnlicher Form, wie etwa ein Faden auf eine Rolle aufgespult wird, auf die Spule wickelt, sondern in bifilarer Form (Fig. 38). Dann fließt der Hauptstrom in je zwei benachbarten Bindungen in entgegengesetzter Richtung, und daher heben sich die entstehenden Extraströme in den einzelnen Bindungen gegen-

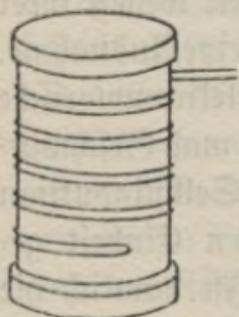


Fig. 38.

seitig auf. Eine solche Drahtrolle heißt induktionsfrei oder bifilar gewickelt. Die Drahtrollen, die als Widerstände dienen, werden immer bifilar gewickelt.

Um die Extraströme in einer Drahtspule möglichst stark zu machen, bringt man in das Innere der Spule einen weichen Eisenkern. Durch die Änderung des Hauptstroms ändert sich auch der Magnetismus des weichen Eisenkerns, und diese Änderung wirkt gleichfalls induzierend auf den Draht in der Induktionsspule ein. Eine Rolle, die einen kleinen Widerstand, aber dadurch, daß sie einen weichen Eisenkern besitzt, große Selbstinduktion hat, heißt Drosselspule. Durch Einschaltung eines Kondensators (s. Elektr. I. S. 74) können die Extraströme zum Verschwinden gebracht werden. Den Extrastrom, wie er z. B. bei Kontakten entsteht, kann man dadurch verhindern, daß man einen Kondensator entweder parallel zum Elektromagneten oder parallel zum Kontakt schaltet.

Elektroinduktionsströme von großer Spannung werden in dem sogenannten Funkeninduktor, nach seinem ersten Hersteller auch kurz Rühmkorff genannt (Günther, Gesch. d. Naturw. II. S. 159), hervorgebracht. Fig. 39 zeigt einen Funkeninduktor in schematischer Darstellung. In einer primären Spule, die mit isoliertem Kupferdraht von 4—6 mm Dicke bewickelt ist, befindet sich ein Bündel aus weichen Eisendrähten F. Die Primärspule steckt in einer sekundären Spule, deren Windungen aus dünnem isoliertem Kupfer-

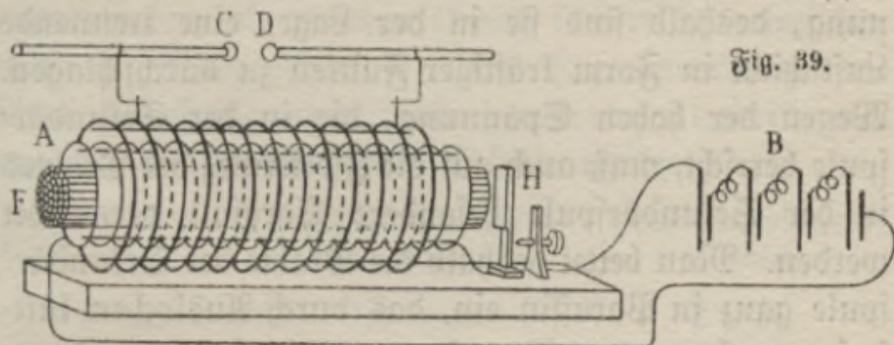


Fig. 39.

draht bestehen, der in vielen Lagen auf der Sekundärspule aufgewickelt ist. Bei großen Apparaten hat der Draht der Sekundärspule eine Länge von über 100 km. Von einer elektrischen Batterie B geht der Strom durch einen Reeffschen Hammer (S. 34 f.) H in die Primärspule. Durch diesen Hammer wird der Primärstrom abwechselnd geschlossen und unterbrochen und es entstehen dann in der Sekundärspule Induktionsströme von hoher Spannung. Da der Induktionsschließungsstrom dem Induktionsöffnungsstrom entgegengesetzt gerichtet ist, verlaufen in der Sekundärspule die Ströme in abwechselnder Richtung als sogenannte Wechselströme. Man

kann sich von der Existenz dieser Wechselströme überzeugen, wenn man in den Sekundärstromkreis eines ganz kleinen Funkeninduktors ein Projektionsgalvanometer einschaltet. Der Lichtfleck wird dann so rasch bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt, daß das Auge die aufeinanderfolgenden Ablenkungen nicht mehr auflösen vermag, und so zeigt sich auf dem Projektionsgitter ein in die Breite gezogener heller Lichtstreifen. Die in der Sekundärspule entstehenden Induktionsströme besitzen eine hohe Spannung, deshalb sind sie in der Lage, eine trennende Luftschicht in Form kräftiger Funken zu durchschlagen. Wegen der hohen Spannung, die in der Sekundärspule herrscht, muß auch auf die Isolierung des Drahtes in der Sekundärspule besondere Sorgfalt verwendet werden. Man bettet deshalb die Drähte der Sekundärspule ganz in Paraffin ein, das durch Auskochen luftfrei gemacht worden ist, und trennt die einzelnen Lagen des Drahtes durch Glimmer oder paraffiniertes Papier. Ein Funkeninduktor wird, da er Elektrizität von niedriger Spannung in solche von hoher Spannung umzuwandeln gestattet, auch Transformator genannt. Schickt man in die Primärspule eines Funkeninduktors, die einen Widerstand von 1 Ohm besitzt, einen Strom von 10 Volt Spannung, so daß in der Primärspule ein Strom von 10 Ampère entsteht, so ist die aufgewendete Leistung 100 Watt. Nach dem Prinzip von der Erhaltung der Energie, wonach Energie nicht vermehrt oder vermindert werden kann, erhält man dann in der Sekundärspule, von den unvermeidlichen Ver-

lusten abgesehen, gleichfalls 100 Watt. Beträgt die Spannung in der Sekundärspule 200 000 Volt, so ist die Stromstärke $\frac{100}{200\,000} = \frac{1}{2000}$ Ampère oder gleich $\frac{1}{2}$ Milliampère.

Der zwischen C und D (Fig. 39) entstehende Funkenstrom unterscheidet sich in keiner Weise von dem Funkenstrom bei einer Influenzmaschine (Elektrizität I. S. 67). Die Schlagweite der Funken (Elektrizität I. S. 54) kann als Maß für die Größe des Spannungsunterschiedes, die zwischen C und D herrscht, angesehen werden. Man erhält so einen Zusammenhang zwischen der Schlagweite und der Spannungsdifferenz, wie sich aus nachstehender Tabelle ergibt:

Durchmesser der Kugeln:	Schlagweite zwischen den Kugeln:	Spannungsdifferenz in Volt:
1 cm	0,5 mm	2 900
1 "	1,0 "	4 800
1 "	3,0 "	11 400
1 "	6,0 "	19 900
1 "	10 "	26 700
1 "	15 "	31 600
1 "	20 "	36 000

Es ist daher schon eine Spannung von fast 3000 Volt notwendig, um einen Funken von einem halben Millimeter Länge zu erzeugen und mit der Größe der Schlagweite wächst die zugehörige Spannungsdifferenz. Die Luft setzt nämlich dem Durchgang der Elektrizität einen sehr großen Widerstand entgegen, und deshalb sind sehr

hohe Spannungen notwendig, um diesen Widerstand zu überwinden.

Die oben angegebene Tabelle läßt sich nach Beobachtungen von verschiedenen Forschern annähernd in einer Gleichung ausdrücken, wonach $V = 4800 d + 24000$; in dieser Gleichung bedeutet V die erforderliche Spannung in Volt und d die Dicke der Luftschicht in Zentimetern.

Doch stimmen die aus der Formel berechneten Werte wie bemerkt nur annähernd mit den in der Tabelle angegebenen überein. Nach der Formel ist für eine Schlagweite von 20 mm eine Spannungsdifferenz von 33600 Volt und für eine Schlagweite von 15 mm eine solche von 31200 Volt erforderlich. Dies rührt von den verschiedenen Durchmesser der Kugeln her, zwischen denen die Funken übersprangen.

Da die Spannung des Stromes in der Sekundärspule von der Stromstärke in der Primärspule und von dem zeitlichen Verlaufe des Primärstromes abhängt, wird man die Anzahl der Unterbrechungen des Hauptstromes möglichst groß machen. Dazu eignet sich aber der Hammerunterbrecher nicht mehr, der nur eine bestimmte Anzahl von Schwingungen in der Sekunde auszuführen vermag und nur mit einer Spannung bis zu 20 Volt betrieben werden kann. Durch einen rotierenden Quecksilberunterbrecher kann die Zahl der Unterbrechungen bedeutend vermehrt werden. Die größte Anzahl von Unterbrechungen erhält man jedoch mit den sog. elektrolytischen Unterbrechern, wie sie von Wehnelt und Simon angegeben wurden. Der Wehnelt-Unterbrecher besteht aus einer

Glasröhre, in der sich ein Kupferdraht befindet, der an seinem untern Ende eine eingeschraubte Platinspize hat; diese ist in die Glasröhre eingefügt, so daß sie 1—2 mm aus ihr herausragt. In verdünnte Schwefelsäure taucht eine Bleiplatte als Kathode, während das Kupfer mit der Platinspize als Anode erscheint. Durch den Hauptstrom wird die Schwefelsäure zersetzt, die Platinspize überzieht sich mit Dampf und Gas, das den Strom nicht leitet und ihn daher unterbricht. Doch können die Gasblasen an der Spize nicht bestehen, sondern sie werden fortgestoßen, wodurch die Platinspize wieder frei und der Strom neuerdings geschlossen wird. Mit dem Wehnelt-Unterbrecher können bis 2000 Unterbrechungen in einer Sekunde hervorgebracht werden. Wird aber ein Funkeninduktor mit dem später zu beschreibenden Wechselstrom betrieben, so eignet sich der Wehnelt-Unterbrecher nicht mehr, da die Platinspize schon durch einen Strom von 30 Ampère in kurzer Zeit abschmilzt. Wenn ein Funkeninduktor durch einen von einem Elektrizitätswerk gelieferten Wechselstrom in Betrieb gesetzt werden soll, benutzt man den Lochunterbrecher von Simon, der auf demselben Prinzip beruht wie der Wehnelt-Unterbrecher. In ein Reagenzglas oder in ein Porzellanstandgefäß, in dem sich unten ein Loch von 1—2 mm Durchmesser befindet, taucht als Kathode ein Kohlenstift, der an seinem unteren Ende zugespitzt ist. Das Ganze wird in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure eingehängt, in die als anderer Pol des Stromkreises eine Bleiplatte eintaucht. An dem Loch entwickeln sich Gas- und Dampfblasen, die

den Durchgang des Stromes hindern, aber sofort nach ihrem Entstehen fortgeschleudert werden, wodurch wieder ein Stromschluß hergestellt wird.

Schaltet man zwischen C und D (Fig. 39) eine oder mehrere Verstärkungsflaschen ein, so erhält man ebenso wie bei einer Influenzmaschine (Elektrizität I. S. 67) statt des kontinuierlich erscheinenden Funkenstromes Entladungsfunken, die mit einem klatschenden Geräusch verbunden sind und sich immer dann wiederholen, wenn sich auf den Belegungen der Verstärkungsflaschen eine bestimmte Elektrizitätsmenge angesammelt hat.

Da man bei Anwendung der elektrolytischen Unterbrecher viel höher gespannte Ströme in die Primärspule eines Funkeninduktors schicken kann — in der Regel benutzt man dazu den von den Elektrizitätswerken erzeugten Strom von 120 Volt Spannung — so erhält man in der Sekundärspule auch eine viel größere Energiemenge, die bis zu 14 400 Watt betragen kann. Bei einer Spannung von 200 000 Volt in der Sekundärspule ist die damit verbundene Stromstärke 0,07 Ampère und der Effekt beinahe 20 Pferdestärken.

Wird der primäre Strom durch die auf S. 83 beschriebene Vorrichtung geschlossen und geöffnet, so zeigt sich im Moment des Stromschließens nur dann ein Funken zwischen C und D (Fig. 39), wenn die Entfernung der beiden Kugeln klein ist. Macht man die Entfernung der beiden Kugeln größer, so entsteht beim Stromschließen überhaupt kein Funken mehr, wohl aber, wenn der primäre Strom geöffnet wird. Dies rührt

daher, daß der Induktionsschließungsstrom wegen der in der Sekundärspule auftretenden Selbstinduktion nicht die hohe Spannung erreichen kann wie der Induktionsöffnungsstrom. In dem Falle einer genügend großen Entfernung von C und D entstehen bei Einschaltung eines Unterbrechers nur Induktionsöffnungsfunken, so daß zwischen C und D nur eine einseitig gerichtete Entladung entsteht und man auch hier eine Anode und eine Kathode unterscheiden kann.

Mit dem Funkeninduktor können die im 4. Band der Bücher der Naturwissenschaft beschriebenen Strahlungsercheinungen hervorgebracht werden, zu denen insbesondere auch die Röntgenstrahlen gehören.

Die gewöhnlichen Röntgenaufnahmen beanspruchen längere Zeit und werden infolgedessen häufig durch willkürliche oder unwillkürliche Bewegungen des Patienten gestört. Um nun in kurzer Zeit eine hinreichende Strahlenmenge zu erhalten und dadurch diese Nachteile zu vermeiden, muß man der Röntgenröhre einen einzigen Induktionsstoß aus einem großen Funkeninduktor zuführen. Dies läßt sich z. B. dadurch erreichen, daß man in dem Primärstrom eine Abschmelzvorrichtung einsetzt und den Strom so stark macht, daß die Abschmelzvorrichtung zerstört wird; dadurch erleidet der Strom eine plötzliche Unterbrechung und in der Sekundärspule entsteht ein einziger Induktionsstoß. Man kann den Induktionsstoß — Einzelschlag oder Unipuls — auch durch einen Quecksilberunterbrecher hervorbringen. In einer gut passenden Führungshülse aus einem isolierenden Material, die in ein Gefäß mit

Quecksilber eintaucht, oben aber von Alkohol umgeben ist, der außen über dem Quecksilber steht, bewegt sich ein amalgamierter starker Kupferstift. Wird der Kupferstift aus dem Quecksilber gezogen, so steigt das Quecksilber in der Führungshülse nach. Bei hohen Stromstärken wird die Stromdichte in dem Quecksilberfaden so groß, daß er durch die Stromwärme und die entstandene Selbstinduktion zersprengt wird, wobei ein Funken auftritt. Der Selbstinduktionsfunke wird so momentan abgerissen und ist so stark, daß selbst dicke Körperteile in $\frac{1}{200}$ Sekunde aufgenommen werden können.

2. Elektrische Schwingungen.

Zwei entgegengesetzte Elektrizitätsmengen suchen sich zu vereinigen. Ist die Spannung zwischen den beiden verschiedenen Elektrizitäten groß genug, so erfolgt diese Vereinigung in Form eines elektrischen Funkens. Der elektrische Funke ist aber keine momentane Erscheinung, sondern er gibt den Anlaß zu elektrischen Schwingungen.

Befestigt man eine Wagschale an einem dünnen Faden und belastet die Wagschale allmählich mit Gewichtsstücken, so wird schließlich der Faden reißen, die Wagschale fällt herab und die in den Gewichtsstücken aufgespeicherte Energie wird scheinbar plötzlich vernichtet. Anders ist es dagegen, wenn die Wagschale an einer Spiralfeder aufgehängt und allmählich belastet wird. Die Feder dehnt sich aus und fängt, wenn man die Unterlage, z. B. die Hand wegzieht, zu schwingen an. Durch den Widerstand, den die Luft

diesen Schwingungen entgegengesetzt, wird die Bewegung verlangsamt und schließlich zum Aufhören gebracht. Man nennt solche Schwingungen schwach gedämpft. Würde man die Bagnall'sche Feder mit den aufgelegten Gewichtsstücken statt in der Luft in Wasser schwingen lassen, so käme die Feder wegen des viel größeren Widerstandes viel rascher zur Ruhe. Die hierbei entstandenen Schwingungen heißen rasch gedämpft. Verhindert man die dämpfende Wirkung des Wassers dadurch, daß man in den geeigneten Momenten der Feder mit der Hand einen Anstoß versetzt, so schwingt die Feder unaufhörlich weiter. Die so entstandenen Schwingungen bezeichnet man als ungedämpfte.

Sind in den beiden einander genäherten Enden zweier Leiter entgegengesetzte Elektrizitätsmengen angehäuft, so besitzen diese Elektrizitätsmengen gleichfalls eine Energie. Diese Energie wird durch den elektrischen Funken aufgezehrt, der zwischen den Enden der Leiter überschlägt. Ist der hierbei zu überwindende Widerstand groß, so sind die Schwingungen, die durch den Funken entstehen, rasch gedämpft. Wird der Widerstand kleiner, so werden die Schwingungen schwach gedämpft. Um die Schwingungen, die durch einen elektrischen Funken hervorgebracht werden, sichtbar zu machen, bediente sich Feddersen (Günther, Bd. II. S. 154) eines kleinen Spiegels, der sich mit großer Geschwindigkeit um eine vertikale Achse drehen konnte. Man hätte nun erwarten sollen, daß das Bild des elektrischen Funkens sich in der Form eines hellen Streifens gezeigt hätte, wenn der Spiegel in Rotation

versezt wird. Es zeigte sich jedoch der Streifen von dunkeln Stellen unterbrochen, wodurch die Tatsache der oszillatorischen Entladung bewiesen war. Die Dauer des ganzen Funkens betrug ungefähr $\frac{1}{60\,000}$ Sekunde. In dem Funkenbild wechselten acht dunkle mit acht hellen Stellen ab, d. h. der Funke kam nach acht Schwingungen zum Erlöschen; daher betrug die Dauer einer Oszillation $\frac{1}{480\,000}$ Sekunde. Wenn die Funkenentladung eine oszillatorische ist, so werden sich die gleichen Erscheinungen zeigen, die auch bei anderen periodischen Schwingungen, wie sie durch den Schall und durch das Licht hervorgebracht werden, wahrgenommen werden können. So macht eine Pfeife um so raschere Schwingungen und ihr Ton ist um so höher, je kürzer sie ist, weil dabei die in Bewegung gesetzte Luftmenge sehr gering ist. Dann werden auch bei der Funkenentladung die Schwingungen um so rascher sein, die Schwingungsdauer wird um so kürzer werden, je kleiner die zu ladenden Kapazitäten sind. Läßt man die elektrische Funkenentladung zwischen kleinen Platinstäbchen vor sich gehen, wie dies von Lebedew ausgeführt wurde, so erhält man elektrische Wellen von 3 mm Länge d. h. in einer Sekunde 100 000 Millionen Schwingungen. Große Verstärkungsflaschen geben langsamere Schwingungen als kleine.

Eine der wichtigsten Erscheinungen, die die Schall- schwingungen zeigen und die gerade auf ihrer Schwingungsnatur beruht, ist die Resonanz. Singt man z. B. in ein Klavier einen Ton, so wird die Saite, die auf den gesungenen Ton abgestimmt ist, in Schwin-

gungen geraten. Schlägt man eine Stimmgabel an, so ist man nicht imstande in größerer Entfernung die Schwingungen der Stimmgabel mit dem Ohr wahrzunehmen. Hält man aber die Stimmgabel G (Fig. 40) über ein Standglas S, so wird die in dem Standglas enthaltene Luftsäule in Schwingungen versetzt, wenn die Luftsäule den passenden Ton hat, d. h. den Ton, den sie vermöge ihrer Länge selbst hervorbringt, nachdem sie in Schwingungen versetzt wurde; man hört dann den von der Stimmgabel hervorgebrachten Ton ganz deutlich in größerer Entfernung. Durch Zugießen von Wasser läßt sich die Luftsäule verkürzen und eine Stimmgabel mit höherem Ton wird jetzt die Luftsäule zur Resonanz bringen. Aber nicht nur der Schall zeigt die Eigenschaft der Resonanz, sondern jede periodische Schwingung wird Resonanzerscheinungen hervorbringen können. Daher wird ein Drahtsystem, das aus einer Selbstinduktion und einer Kapazität besteht, nicht bloß durch einen elektrischen Funken in Schwingungen versetzt, sondern auch dadurch, daß es von Schwingungen der gleichen Periode getroffen wird, die von einem elektrisch schwingenden System hervorgebracht werden. Die beiden Systeme, in denen elektrische Schwingungen stattfinden, heißen Schwingungskreise, und zwar bezeichnet man den einen als den anregenden, den andern als den mitschwingenden oder resonierenden. Damit Resonanzwirkungen eintreten können,

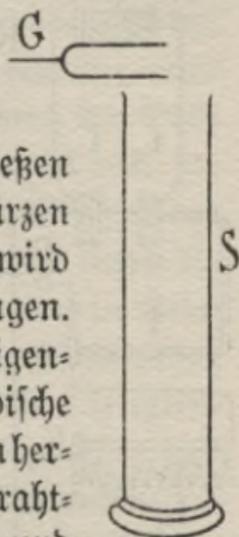


Fig. 40.

bringt man den resonierenden Schwingungskreis in die Nähe des anregenden, so daß die elektrischen Schwingungen durch Induktionwirkung in dem resonierenden Kreis entstehen. Die beiden Schwingungskreise heißen in diesem Fall induktiv gekoppelt. Verbindet man da-

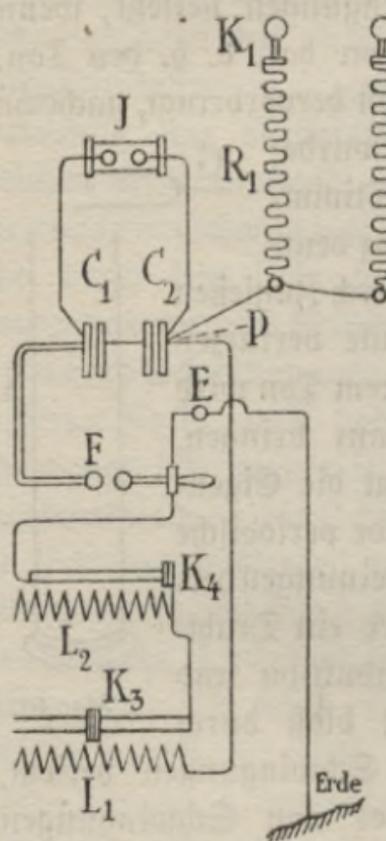


Fig. 41.

gegen die beiden Schwingungskreise durch einen Leitungsdraht, so nennt man die beiden Kreise direkt oder galvanisch gekoppelt. In Fig. 41 stellt J einen Funkeninduktor vor, der zwei Verstärkungsflaschen C_1 und C_2 ladet, die sich in der Funkenstrecke F entladen. L_1 und L_2 sind zwei Induktionsspulen mit blankem Draht, der auf Zylindern aus Isoliermaterial aufgewunden ist. Durch die Kontaktschieber K_3 und K_4 können mehr oder weniger Windungen der Induktionsspulen eingeschaltet werden. Die Funkenstrecke F ist regulierbar, und von E führt

ein Draht zur Erde. An die eine Verstärkungsflasche C_2 sind bei P eine oder mehrere Resonatorenspulen R_1 , R_2 durch einen Leitungsdraht angeschlossen. Wird der Funkeninduktor in Betrieb gesetzt, so springen bei F Funken über, wodurch in dem anregenden Schwingungs-

kreis, der aus den Verstärkungsflaschen und den Induktionsspulen besteht, elektrische Schwingungen erzeugt werden. Schaltet man zunächst die Selbstinduktion ganz aus, so hat man sehr hohe Schwingungszahlen, auf die die beiden Spulen R_1 und R_2 nicht ansprechen. Wird aber mehr und mehr Selbstinduktion eingeschaltet, so kommt man an eine Stelle, wo die eine der beiden Spulen in Resonanz versetzt wird. Man erkennt dies daran, daß entweder aus dem Knopf K_1 oder K_2 die Elektrizität in Form starker bläulicher Funken aussprüht. Da die Anzahl der Windungen und die Dicke des Drahtes auf der Spule R_2 verschieden ist von der Anzahl der Windungen und der Dicke des Drahtes der Spule R_1 , so wird die Spule R_2 , wenn z. B. zuerst R_1 angeregt worden war, nicht mit angeregt oder in Resonanz versetzt. Schaltet man noch mehr Windungen der Induktionsspulen ein, so verschwindet das Funken-sprühen auf dem Knopf K_1 , weil die Resonanz aufgehoben ist, und wenn man noch mehr Selbstinduktion einschaltet, so gelangt man an eine zweite Stelle, wo aus dem Knopfe K_2 Funken aussprühen. Kleine Verschiebungen der Kontaktschieber K_1 und K_2 von der Stelle, an der das stärkste Funkensprühen stattfindet, bewirken das Aufhören des Funkensprühens. Man kann somit die Resonanz der Spulen mit dem anregenden Schwingungskreis deutlich erkennbar machen. An dem freien Ende einer solchen galvanisch gekoppelten Spule besitzt die Spannung ihr Maximum; es ist dort ein sogenannter Spannungsbau vorhanden, weil die Elektrizität nicht abströmen kann. Durch die

starke Spannung wird der Widerstand der Luft überwunden und deshalb sprühen aus der Spule die Funken aus.

Läßt man Wechselstrom von hoher Frequenz durch einen Draht hindurchgehen, der eine gewisse Dicke besitzt, so setzt der Draht infolge seiner Selbstinduktion dem Durchgang des elektrischen Stromes ein größeres Hindernis entgegen als dem Durchgang eines Stromes, wie er z. B. von einem galvanischen Element geliefert wird. Die durch die raschen Änderungen des Stromes in einem Draht hervorgebrachten Extra-*spannungen* werden so stark, daß der Strom überhaupt nicht mehr durch den Draht fließen kann. Die *Oszillationen* gehen leichter durch einen dünnen Kohlenfaden, der z. B. 1 cm Länge hat, als durch einen dicken Kupferdraht von 2 cm Länge, obwohl der Widerstand des Kohlenfadens 1000 mal größer sein kann als der Widerstand des Kupferdrahtes. Durch einen überraschenden Versuch läßt sich diese Tatsache erweisen. Biegt man einen dicken Kupferstreifen zu einem Bügel B und bringt innerhalb des Bügels in der aus Fig. 42 ersichtlichen Weise kleine Glühlampen S_1 , S_2 usw. an, so leuchten diese Glühlampen auf, wenn man durch das System elektrische Schwingungen sendet. Die Schwingungen werden dadurch hervorgebracht, daß man zwei parallel oder hintereinander geschaltete Verstärkungsflaschen C_1 und C_2 in der aus der Figur ersichtlichen Weise mit einem Funkeninduktor J verbindet, so daß sich in dem Schwingungskreis die Funkenstrecke F und das Gestell B mit den Glühlampen befindet.

Schaltet man in den Schwingungskreis statt des Gestells mit den Glühlampen eine horizontalliegende Induktionsspule ein, so daß die Induktionsspule in dem Schwingungskreis liegt, so entstehen in der Induktionsspule Schwingungen von großer Induktionswirkung, da die Wechsel des Stromes in der Spule sehr rasch aufeinanderfolgen. Hält man nun einige Windungen eines dicken Kupferdrahtes, in die eine Glühlampe eingeschaltet ist, mit der Hand so, daß sich die Induktionsspule innerhalb der Windungen des dicken Kupferdrahtes befindet, so leuchtet die Glühlampe auf, obwohl sie in gar keiner Verbindung mit einer Stromquelle steht. Sie wird bloß durch die Induktion zum Leuchten gebracht.

Tesla hat mit den starken Induktionswirkungen eines oszillierenden Kreises Erscheinungen hervorgebracht, die unter dem Namen der

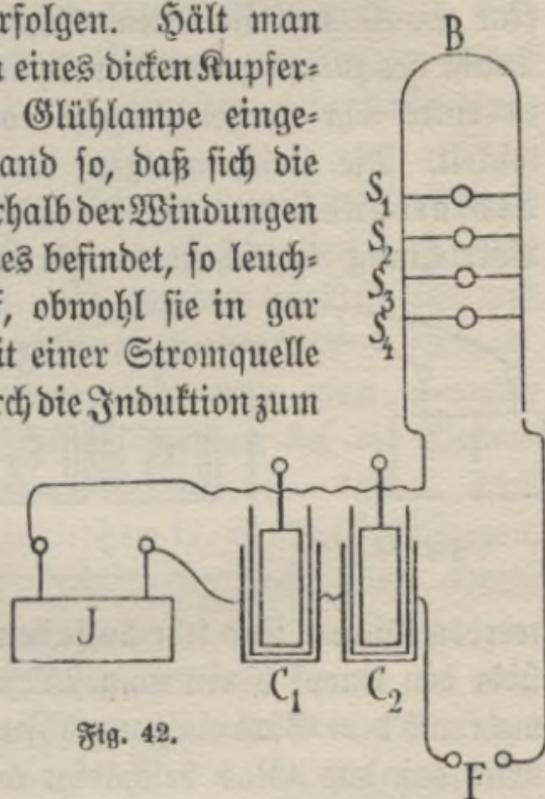


Fig. 42.

Teslaströme bekannt geworden sind. Fig. 43 zeigt die Anordnung des Tesla-Versuches. Der eine Pol der sekundären Spule eines Funkeninduktors J wird mit der inneren Belegung einer Verstärkungsflasche C₁ und der andere Pol der sekundären Spule mit der äußeren Belegung einer Verstärkungsflasche C₂ verbunden. Dadurch werden die Verstärkungsflaschen geladen.

Andererseits sind die inneren und äußeren Belegungen der Verstärkungsflaschen durch eine Funkenstrecke F — sie wird in der Regel durch Überdecken abgeblendet — und eine Spule P von dickem Kupferdraht, deren Windungszahl zwischen 5 und 10 beträgt, geschlossen. In der Spule P steht ein Glaszylinder, in dem sich eine Spule von isoliertem Kupferdraht befindet. Der Draht der zuletzt genannten Spule ist sehr dünn und ist in einer sehr großen Anzahl von Windungen aufgewickelt. Die Erscheinungen, die mit dem Tesla-Transformator — so wird diese Vorrichtung bezeichnet — hervorgebracht

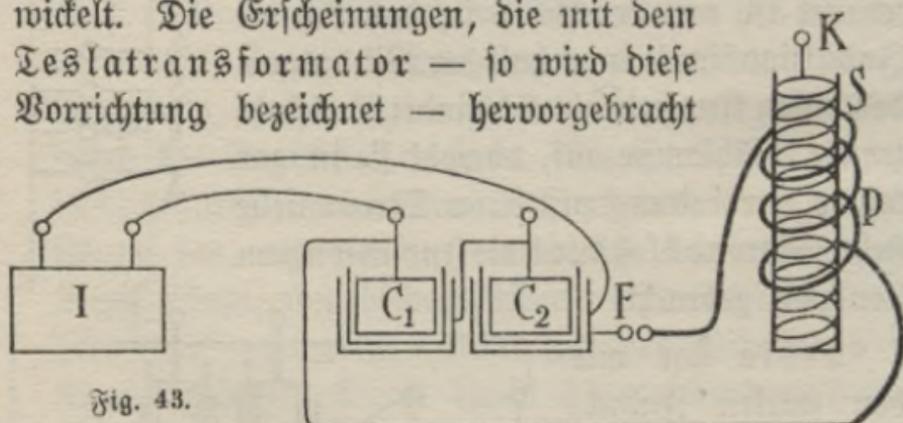


Fig. 43.

werden können, sind sehr auffallender Natur. Hält man über den Knopf K ein umgestülptes Quartglas, so sieht man aus dem Glas ein ganzes Funkenbüschel austreten, ohne daß das Glas beschädigt wird. Bringt man in die Nähe des Knopfes eine mit einem verdünnten Gas gefüllte Glasröhre, so leuchtet das Gas in der Glasröhre auf, weil die ganze Umgebung von elektrischen Kräften durchflutet ist. Von dem Leuchten solcher Röhren wird in neuester Zeit Gebrauch gemacht bei dem sogenannten Moore- und Neon-Licht.

Sehr sonderbar ist, daß die elektrischen Oszillationen

von hoher Frequenz keine spürbare Wirkung auf die menschlichen Nerven ausüben. Man kann aus dem Knopf K Funken von 50 cm Länge auf die Hand schlagen lassen, ohne daß man eine besondere Wirkung verspürt. Diese Erscheinung — Skineffekt — beruht wahrscheinlich darauf, daß bei den außerordentlich rasch wechselnden Strömen die Elektrizität nicht in das Innere des menschlichen Körpers eindringen kann, sondern sich nur auf der äußersten Oberfläche ausbreitet.

Wenn die elektrischen Schwingungen wellenförmig sind, so werden sie sich wie die Lichtwellen nach allen Seiten hin ausbreiten. Es werden Wellenberge und Wellentäler (Geigel, Licht und Farbe. Büch. d. Naturw. Bd. 5, S. 25) entstehen, und wenn man geeignete Auffangvorrichtungen besitzt, werden sich die Wellenbäuche und die Knotenpunkte nachweisen lassen. Dies ist tatsächlich Herz (Günther II. S. 160) gelungen. Herz brachte einen kreisförmig gebogenen Draht — Resonator genannt — der an seinen Enden nur durch eine kleine Luftstrecke getrennt war, an verschiedene Stellen eines Raumes, der von elektrischen Wellen erfüllt war, die durch die Entladungsfunken der sekundären Spule eines Funkeninduktors hervorgerufen wurden, und konnte dann an den zwischen den Enden des Drahtes sichtbaren Funken den elektrischen Zustand des Raumes erkennen. Da jedoch die beiden Kugeln des Funkeninduktors, zwischen denen die Entladung erfolgt, eine sehr geringe Kapazität besitzen, so vergrößert man die Kapazität dadurch, daß

man an die Kugeln nach auswärts Metallschienen- oder Zylinder in leitender Verbindung anbringt oder eine Selbstinduktion einschaltet. Durch passende Veränderung der Kapazität oder der Selbstinduktion oder beider zugleich ist man in der Lage, die Schwingungen so zu ändern, daß sie von dem Resonator leichter wahrgenommen werden können. Righi verwendete statt zweier Kugeln vier Kugeln, deren Mittelpunkte eine gerade Linie bildeten. Die beiden mittleren Kugeln tauchen in Petroleum und zwischen ihnen springen die wirksamen Funken über. Der Apparat wird Radiator oder Dszillator, auch Strahlapparat genannt.

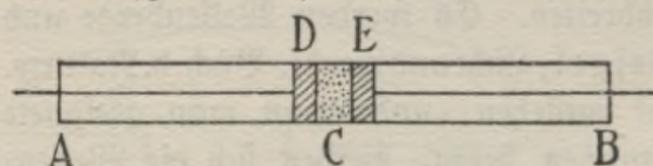


Fig. 44.

Mit der von
Branly
(Günther
II. S. 166)
gemachten

Entdeckung, wonach Metallspäne im gewöhnlichen Zustand dem Durchgang des elektrischen Stromes einen großen Widerstand entgegensetzen, der sich aber sofort verringert, wenn die Metallspäne von einer elektrischen Welle getroffen werden, ist es gegenwärtig leicht, die elektrischen Wellen beobachten zu können. In einer kleinen Glasröhre AB (Fig. 44) befindet sich eine 0,5 mm dicke Schicht C aus Nickel- und Silberspänen zwischen zwei Silberelektroden D und E, die mit Leitungsdrähten verbunden sind. Ein solcher Apparat heißt Kohärer oder Fritter und wird auch elektrisches Auge genannt. Die Wirkungsweise des Fritters ist noch nicht genügend aufgeklärt. Man ver-

mutet, daß durch die elektrischen Wellen in den Metallspänen eine Art Zusammenschweißung entsteht, wodurch die Leitfähigkeit hergestellt wird. Die durch die elektrischen Wellen bewirkte Leitfähigkeit des Kohärens bleibt bestehen, bis er wieder in seinen früheren Zustand, nämlich der Nichtleitfähigkeit, versetzt wird. Dies wird durch einen Klopfer erreicht, der automatisch durch einen elektrischen Strom betrieben die Metallspäne wieder in Unordnung bringt. Außerdem kann durch den Fritter ein Relais in Betrieb gesetzt und durch das Relais entweder eine elektrische Klingel zum Ertönen gebracht oder ein Morse-Apparat veranlaßt werden, Schriftzeichen zu fixieren.

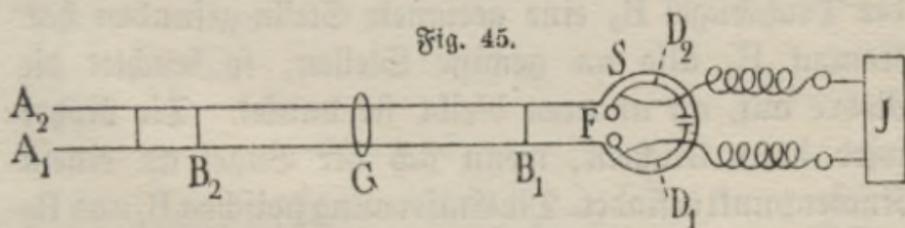
Da die Geschwindigkeit der Elektrizität die gleiche ist wie die des Lichtes, und das Licht durch Ätherschwingungen (Bücher d. Naturwissensch. Bd. 5, S. 123) fortgepflanzt wird, so wird man annehmen müssen, daß auch die Elektrizität sich in dem Äther fortpflanzt. Lichtwellen und elektrische Wellen sind die nämlichen, sie unterscheiden sich bloß durch ihre Länge. Lichtwellen, die auf unser Auge wirken, haben Längen, die zwischen 4 und 7,5 Zehntausendstel eines Millimeter liegen. Die Strahlen im Ultrarot (Bücher der Naturwissenschaft Bd. 5, S. 110) haben eine Wellenlänge zwischen 50 und 60 Tausendstel eines Millimeters. Die elektrischen Wellen besitzen Längen von 3 mm bis zu 3 km. Es werden daher elektrische Wellen von sehr kurzer Schwingungsdauer als Lichtwellen erscheinen oder wir werden Ätherwellen von verhältnismäßig großer Schwingungsdauer nicht mehr als Licht sehen, sondern

wir nehmen sie nur durch ihre Induktionswirkungen wahr. Ob aber das Leuchten der Leuchtkäfer und der Leuchtbakterien gleichfalls elektrischer Natur ist, ist bis jetzt noch nicht entschieden.

Die Übereinstimmung der Lichtwellen mit den elektrischen Wellen läßt sich durch weitere Versuche noch sicherer erweisen. Wie in Elektrizität I. S. 93 ausgeführt ist, können die elektrischen Wellen durch Metalle nicht hindurchgehen. Stülpt man daher über einen Apparat, von dem elektrische Wellen ausgehen, einen allseitig geschlossenen Blechkasten, so wird man rings um den Blechkasten keinerlei Wirkung wahrnehmen können. Bringt man aber in dem Blechkasten einen Spalt an, so gehen die elektrischen Wellen durch diesen Spalt hindurch, sie haben eine zwangsläufige Richtung erhalten und verlaufen geradlinig; man hat einen elektrischen Strahl erhalten. Bringt man jetzt in die Richtung dieses Strahles einen Fritter, der durch ein Relais mit einem Läutapparat in Verbindung ist, so wird das Läutwerk ertönen; dagegen bleibt es ruhig, wenn der Fritter seitlich von dem elektrischen Strahl aufgestellt wird. Läßt man aber den aus dem Spalt kommenden elektrischen Strahl seitlich auf einen Metallschirm fallen, so wird er dort wie ein Lichtstrahl reflektiert und bringt ein nach dem Reflexionsgesetz (Seigel, Licht u. Farbe. Büch. d. Naturw. Bd. 5, S. 10) aufgestelltes, mit einem Fritter und Relais versehenes Läutwerk zum Ertönen. Läßt man den elektrischen Strahl durch ein dreiseitiges Prisma aus Paraffin von ungefähr 15 cm Kantenlänge hindurchgehen, so wird er wie ein Licht-

strahl seitlich gebrochen. Benutzt man als Linse eine mit Petroleum gefüllte kugelförmige Glasflasche, so kann man einen in der richtigen Entfernung hinter der Glasflasche aufgestellten Rohrer zum Ansprechen bringen.

Um gibt man zwei halbkreisförmige Drähte D_1 und D_2 , von denen jeder bei F in einer Kugel endigt (Fig. 45), mit einem kreisförmig gewundenen Draht S , der nach der linken Seite in zwei parallelen geraden Drähten A_1 und A_2 verläuft — die Drähte werden auch Lecher'sche Drähte genannt — und schiebt durch die Drähte D_1 und D_2 den Entladungsschlag eines Funkeninduktors J , so springen zwischen den Kugeln bei F



Funken über, die oszillatorisch sind und in den Drähten D_1 und D_2 hin und her gehende Bewegungen erzeugen. Die Drähte A_1 und A_2 sind auf einem Brett isoliert aufgespannt. In dem mit $D_1 D_2$ induktiv gekoppelten Draht S entstehen dann gleichfalls elektrische Schwingungen, die längs der Drähte A_1 und A_2 fortschreiten. Überbrückt man die beiden Drähte A_1 und A_2 bei B_1 durch einen Leitungsdraht, so richtet sich die ganze Schwingung so ein, daß bei B_1 ein Ruhe- oder Knotenpunkt entsteht, so daß an dieser Stelle auf beiden Drähten keine elektrische Bewegung vorhanden ist. Die Bewegung schreitet aber von B_1 auf den parallelen

Drähten fort. Legt man nun auf die parallelen Drähte eine mit verdünntem Helium (Bugge, Strahlungserscheinungen. Büch. d. Naturw. Bd. 4, S. 64) gefüllte Geißlersche Röhre G links von B_1 , so leuchtet die Röhre, weil das Helium durch die elektrischen Schwingungen zum Leuchten angeregt wird. Bringt man jetzt einen zweiten Drahtbügel B_2 außerhalb der Heliumröhre auf die beiden Drähte, so hört im allgemeinen die Röhre auf zu leuchten. Kommt man aber mit B_2 an eine bestimmte Stelle, so leuchtet die Röhre wieder, und wenn man noch weiter nach außen geht, wird sie wieder dunkel, bis sie wieder zu leuchten anfängt, wenn der Drahtbügel B_2 eine geeignete Stelle gefunden hat. Kommt B_2 also an gewisse Stellen, so leuchtet die Röhre auf, an anderen bleibt sie dunkel. Die Röhre wird dann leuchten, wenn sich der Bügel an einem Knotenpunkt befindet. Die Entfernung zwischen B_1 und B_2 gibt dann gerade das Maß für die halbe Wellenlänge an.

3. Magnetoinduktion.

Bei der großen Übereinstimmung, die zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus besteht, wird man vermuten, daß auch durch permanente Stahlmagneten Induktionsströme erzeugt werden können. Dies ist auch in der That der Fall. In der einfachsten Form wird der Magnetoinduktionsfundamentalversuch in der Weise angestellt, daß man Anfang und Ende eines 20—25 cm langen Kupferdrahtes*) mit einer Galvano-

*) Das Material des Drahtes ist belanglos; es kann ebensogut ein Zink-, Nickel- oder Eisendraht benutzt werden.

meterspule in Verbindung bringt. Damit der Kupferdraht leicht bewegt werden kann, verwendet man als Leitung, die von dem Kupfer zum Galvanometer führt, flexible Doppelschnüre; außerdem wird man sich, damit das Magnetsystem des Galvanometers nicht schon durch den permanenten Magneten eine Ablenkung erfährt, 6 bis 10 m von dem Galvanometer entfernt aufstellen. In

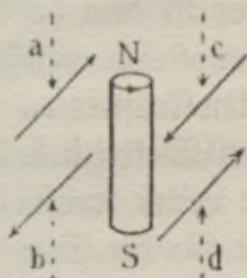


Fig. 46.

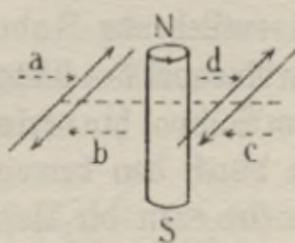


Fig. 47.

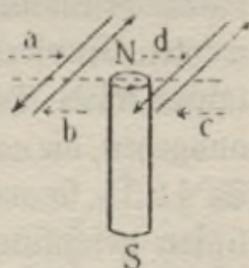


Fig. 48.

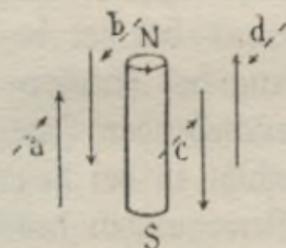


Fig. 49.

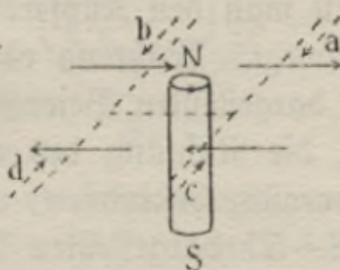


Fig. 50.

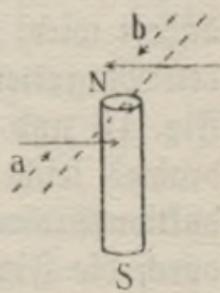


Fig. 51.

den Fig. 46—51 stellen die mit NS bezeichneten Zylinder permanente Stabmagneten vor, bei denen N den Nordpol, S den Südpol des Magneten bedeuten, die mit Pfeilen versehenen geraden Linien stellen den Kupferdraht dar und die gestrichelten Pfeile die Richtung, in der der Kupferdraht bewegt wird. Die auf den geraden Strichen — den Kupferdrähten. — ange-

brachten Pfeile geben die Richtung des Induktionsstromes an, wenn die Kupferdrähte in der Richtung der gestrichelten Pfeile bewegt werden.

Es läßt sich auch hier wieder nach dem Prinzip von Le Chatelier-Braun und der Tatsache, daß sich parallele und gleichgerichtete Ströme anziehen, parallele und entgegengesetzt gerichtete Ströme dagegen abstoßen, vorausbestimmen, in welcher Richtung der in dem bewegten Kupferdraht entstehende Induktionsstrom verlaufen wird. Da vom Nordpol des Magneten Kraftlinien ausgehen, die nach dem Südpol hin verlaufen (Elektrizit. I. S. 123), so werden durch den bewegten Leiter Kraftlinien geschnitten, worin eben die Ursache für die Entstehung der Induktionsströme gesucht werden muß. Es ist selbstverständlich, daß an der Wirkung nichts geändert wird, wenn man den Kupferdraht festhält und den Magneten bewegt. Während es nun bei der in Fig. 46 und 47 dargestellten Bewegung des Kupferdrahtes leicht ist, die Richtung des entstehenden Induktionsstromes vor auszubestimmen, macht es bei den durch die Fig. 48—51 dargestellten Bewegungen des Kupferdrahtes Schwierigkeiten. Bei der Betrachtung der Fig. 47 sieht man, daß die Stromrichtung eine andere ist als in Fig. 48, obwohl die Bewegungsrichtungen des Leiters in beiden Fällen die nämlichen waren; nur wurde in dem durch die Fig. 47 dargestellten Fall der Leiter unterhalb des Nordpols und bei dem durch die Fig. 48 dargestellten Fall oberhalb des Nordpols in einer Ebene bewegt, auf der der permanente Magnet senkrecht steht. Da die Strom-

richtung in dem Falle der Fig. 48 die entgegengesetzte ist wie in dem der Fig. 47, so wird, wenn man den Leiter direkt auf den Nordpol (oder Südpol) zu bewegt, der Leiter stromlos bleiben, was sich auch durch den Versuch bestätigen läßt. Hätte man, statt den Leiter auf den Nordpol zu bewegen, die Bewegung gegen den Südpol, den man sich in diesem Falle oben zu denken hat, ausgeführt, so wäre die Stromrichtung in allen Fällen die entgegengesetzte geworden.

Wenn die Ursache der Magnetoinduktion darin liegt, daß Kraftlinien von einem Leiter geschnitten werden, so wird sich die Wirkung dadurch verstärken lassen, daß man die Kraftlinien verdichtet, wodurch ihre Zahl größer

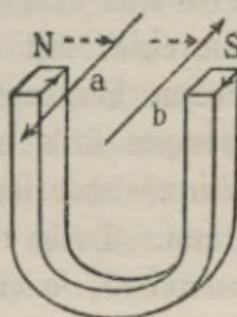


Fig. 52.

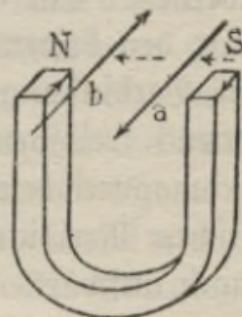


Fig. 53.

wird. Eine solche Verstärkung geht aus nachstehendem Versuch hervor. In Fig. 52 und 53 sind zwei Hufeisenmagneten abgebildet, über deren Pole hinweg ein Leiter in der durch die punktierten Pfeile angegebenen Richtung bewegt wird. Die auf den Leiter gezeichneten Pfeile geben die Richtung der entstehenden Induktionsströme an. Bringt man nun 1—2 cm oberhalb des Hufeisenmagneten eine Eisenmasse von 3—4 cm Dicke an, die so groß ist, daß sie die beiden Pole überdeckt, so entsteht dadurch eine Verdichtung der Kraftlinien und die entstandenen Induktionsströme sind jetzt wesentlich

stärker, was sich aus der viel größeren Ablenkung des Lichtflecks bei dem Projektionsgalvanometer erkennen läßt. Führt man aber mit dem Leiter über der Eisenmasse hinweg, so erhält man keinen Induktionsstrom. Dies beweist, daß die Kraftlinien alle in der Eisenmasse verdichtet wurden.

Da die Erde von elektrischen oder magnetischen Strömen umkreist ist (S. 43), so gehen von diesen Kraftlinien aus; es wird daher ein Strom entstehen, wenn diese Kraftlinien durch einen Leiter geschnitten werden. Ein 60—100 cm langer Kupferdraht wird mit den beiden Enden einer mit dem Galvanometer in Verbindung stehenden Leitungsschnur verbunden, etwas kreisförmig gebogen und in die Richtung des erdmagnetischen Meridians oder senkrecht zum magnetischen Meridian gebracht. Dreht man nun den Leiter nach aufwärts oder abwärts, so erhält man eine Ablenkung des Lichtflecks bei dem Galvanometer. Dieser Versuch dient zur Prüfung, ob ein Galvanometer empfindlich ist, da nur ein ganz empfindliches Galvanometer auf diese schwachen Induktionsströme reagiert.

Man kann nicht erwarten, daß der Magnetoinduktions-Fundamentalversuch, der mit so geringen Mitteln ausgeführt wurde, große Wirkungen hervorbringt. Die Wirkungen werden aber stärker, wenn man statt des geradlinigen Leiters einen halbkreisförmig gebogenen Leiter nimmt; noch stärkere Wirkungen erhält man, wenn man den Leiter zu einem beinahe geschlossenen Kreise biegt und seine beiden Enden durch eine Doppelleitungsschnur mit dem Galvanometer in der schon

bekannten Weise verbindet. Verwendet man statt des Kreises einen in zwei Windungen zu einer Spirale gewundenen Draht, so wird die Ablenkung des Lichtflecks noch größer; sie steigert sich immer mehr, wenn man den Draht zu einer Spirale von mehreren Windungen wickelt. Dabei ist es aber nicht gleichgültig, ob man den kreisförmigen Leiter oder die Spirale seitlich vom Magneten bewegt oder direkt über den Magneten hinwegzieht, so daß sich der Magnet im Innern des Kreises oder der Spirale befindet. In dem zuletzt angeführten Falle erhält man die kräftigste Wirkung, da hierbei die meisten Kraftlinien geschnitten werden. Am bequemsten läßt sich dies erreichen, wenn man eine Spule verwendet, die mit isoliertem Kupferdraht umwickelt ist, und in die der Magnet hineingeschoben oder aus der er herausgezogen wird. Ähnlich wie bei der Elektroinduktion kann die Wirkung der Magnetoinduktionsströme noch in der Weise gesteigert werden, daß man in die Spirale oder Spule, der ein Magnetpol genähert werden soll, einen weichen Eisernen oder ein Eisendrahtbündel bringt.

Mittels der Kraftlinienvorstellung ist man gleichfalls in der Lage, die Richtung eines Induktionsstroms vorauszubestimmen, was mit Hilfe der Maxwell'schen Regel geschieht. Sie lautet: Man blicke auf die induzierte Spule immer in der Richtung der Kraftlinien, die vom Nordpol ausgehen und durch die Luft zum Südpol verlaufen; dann bringen austretende Kraftlinien immer einen Strom im Uhrzeigersinn, eintretende einen Strom im entgegengesetzten Sinn hervor.

In Fig. 54 ist ein kreisförmiger Leiter in verschiedenen Lagen A_1 bis A_8 dargestellt; die Richtung, in der er bewegt wird, ist durch punktierte Pfeile angedeutet, während die auf die kreisförmigen Leiter selbst gezeichneten Pfeile die Richtung der entstandenen Induktionsströme anzeigen.

In gleicher Weise wie bei der Elektroinduktion durch

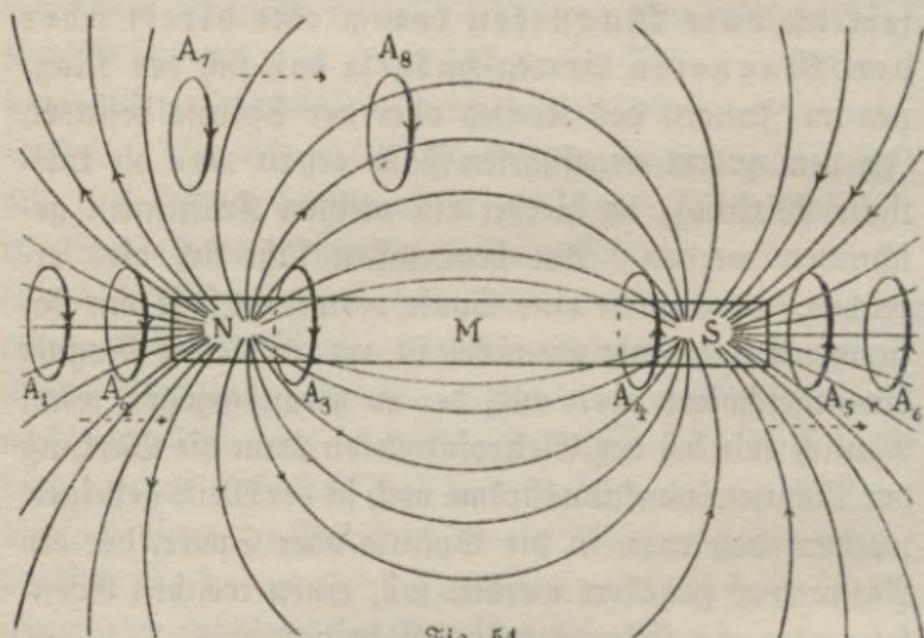


Fig. 54.

eine Schwächung oder Verstärkung des Hauptstromes ein Induktionsstrom hervorgebracht wurde (S. 75), wird auch eine Schwächung oder Verstärkung eines Magnetpols einen Induktionsstrom veranlassen. Um sich davon zu überzeugen, umwickelt man den einen Pol eines stabförmigen Stahlmagneten mit einem isolierten Kupferdraht, dessen Enden mit dem Projektionsgalvanometer verbunden werden. Nähert man dem Magnet-

pol ein weiches Stück Eisen, so zeigt die Ablenkung des Lichtflecks einen Induktionsstrom an, der seine Richtung ändert, wenn das weiche Eisenstück wieder von dem Magnetpol entfernt wird. Durch die Annäherung des weichen Eisens an den Magnetpol wird in dem Ende des Eisens, das z. B. dem Südpol des Magneten zugewendet ist, ein Nordpol hervorgerufen, der in dem zugekehrten Ende des Magneten einen Südpol hervorzubringen sucht, wodurch eine Verstärkung des schon vorhandenen Südpoles des Magneten eintritt. Bei der Entfernung des weichen Eisens vom Südpol des Magneten wird auch der in dem Eisenstück vorhandene Nordpol mit weggenommen, wodurch seine Einwirkung auf den Südpol des Magneten aufhört, und deshalb wird eine Schwächung des in dem Stahlmagneten vorhandenen Südpoles eintreten. Eine Verstärkung des Südpoles in dem Stahlmagneten hätte man aber auch dadurch erreichen können, daß man um den Südpol einen elektrischen Strom in der Richtung des Uhrzeigers geschickt hätte (S. 33); dann würde in den Kupferdrahtwindungen ein Strom entstehen, dessen Richtung entgegengesetzt der Richtung des Uhrzeigers verläuft. Umgekehrt wird eine Schwächung des Südpoles eines Stahlmagneten eintreten, wenn man einen elektrischen Strom um den Südpol schickt, der aus ihm einen Nordpol machen will, d. h. einen Strom, dessen Richtung entgegengesetzt der Richtung des Uhrzeigers verläuft. Es entsteht in diesem Falle in den Kupferdrahtwindungen ein Strom, dessen Richtung wie der Uhrzeiger verläuft. In dieser Weise läßt sich voraus-

bestimmen, nach welcher Richtung der Lichtfleck des Projektionsgalvanometers abgelenkt wird. Auf dem soeben beschriebenen Versuch beruht die Einrichtung des Telephons.

Zur Magnetoinduktion gehört auch nachstehender, leicht anzustellender Versuch: Bringt man eine Deklinationsnadel, die auf einem gewöhnlichen Tisch steht, durch einen schwachen Stoß aus ihrer Gleichgewichtslage, so kehrt die Nadel nicht sofort in ihre ursprüngliche Lage zurück, sondern sie kommt erst nach einer Anzahl von Schwingungen wieder zur Ruhe. Wiederholt man aber diesen Versuch in der Weise, daß man unmittelbar unter der Magnetnadel eine Kupferplatte anbringt, so daß die Magnetnadel direkt über der Kupferplatte schwingen muß, so kommt die Nadel schon nach zwei oder drei Schwingungen zur Ruhe. Durch ihre Bewegung erzeugt nämlich die Magnetnadel nach dem Prinzip von Le Chatelier-Braun in der Kupferplatte Ströme, sogenannte Wirbelströme, wodurch die Bewegung der Magnetnadel gehemmt wird. Auf dieser hemmenden oder dämpfenden Wirkung der im Kupfer induzierten Ströme beruht auch die Tatsache, daß man das schwingende Magnetssystem eines Projektionsgalvanometers sofort zum Stillstand bringen kann, wenn man die Enden der zur Galvanometerspule führenden Doppelschnur zur gegenseitigen Berührung bringt oder kurz schließt. Das Magnetssystem erzeugt in den Windungen der Galvanometerspule Induktionsströme, wodurch die Schwingungen des Systems vernichtet werden.

Man schraubt auf eine Schwungmaschine eine Kupferscheibe und bringt 5 bis 10 mm über der Kupferscheibe eine Deklinationssnadel an, die zur Abhaltung von Luftströmungen durch eine Glasplatte von der Kupferscheibe getrennt ist. Dreht man jetzt mittels der Schwungmaschine die Kupferscheibe rasch herum, so setzt sich die Magnetnadel in Bewegung und dreht sich in der nämlichen Richtung wie die Kupferscheibe. Nach dem Prinzip von Le Chatelier-Braun entstehen bei der Drehung in der Kupferscheibe Ströme, wodurch die Scheibe in entgegengesetzter Richtung gedreht würde. Entfernt sich z. B. ein Punkt der Kupferscheibe in einem bestimmten Moment von dem Nordpol der Magnetnadel, so entsteht in der Scheibe ein Strom, der diesen Punkt der Magnetnadel zu nähern sucht. Da aber die Magnetnadel nicht fest, sondern drehbar über der Scheibe aufgehängt ist, so wird der Nordpol der Magnetnadel diesem Punkt folgen, da dieser Punkt sich ja dem Nordpol nähern will. Dieser Versuch rührt von Arago her und wurde früher (Günther II. S. 157) mit dem Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet.

Umgekehrt kann man dadurch, daß man einen Hufeisenmagneten um eine vertikale Achse dreht, wobei die Pole des Hufeisenmagneten nach oben oder nach unten gerichtet sein können, eine über oder unter dem Hufeisenmagneten drehbar angebrachte Kupferscheibe in Rotation versetzen.

Befestigt man in der Mitte der Kupferscheibe einen Kupferbolzen als Drehachse, setzt die Drehachse isoliert

in den Aufsatz an einer Schwungmaschine — die Isolierung erreicht man leicht dadurch, daß man an der Stelle, wo der Kupferbolzen festgeschraubt wird, ein Stück Isolierband um den Kupferbolzen wickelt — und hält man an den Umfang der Kupferscheibe eine mit dem einen, an den Kupferbolzen eine zweite mit dem andern Ende der Galvanometerspule leitend verbundene Schleiffeder, so erhält man, wenn die Kupferscheibe zwischen den Polen eines festen Hufeisenmagneten herumgedreht wird, einen elektrischen Strom, dessen Richtung sich nach der Ampèreschen Regel und dem Prinzip von Le Chatelier-Braun vorausbestimmen läßt. Die Kupferscheibe ist unter dem Namen der Faradanschen Scheibe bekannt, und liefert Ströme, die, wenn die Drehrichtung dieselbe bleibt, stets in der gleichen Richtung verlaufen und darum Gleichströme genannt werden. Die Maschine führt den Namen Unipolarmaschine.

Waltenhofen hat einen Versuch angegeben, der in augenfälligster Weise die Wirkung der Wirbelströme erkennen läßt. Eine rechteckige Kupferplatte von 30 cm Länge, 20 cm Breite und 1 cm Dicke ist so aufgehängt, daß sie wie ein Pendel mit ihrer schmalen Seite zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten schwingen kann. Wird die Kupferplatte aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, so vollführt sie eine Anzahl von Schwingungen, ehe sie zur Ruhe kommt. Schaltet man nun in dem Moment, wo die Kupferplatte ihre Gleichgewichtslage zwischen den Polen des Elektromagneten passiert, also ihre größte Geschwindigkeit

besitzt, durch einen Taster oder Stromschlüssel den elektrischen Strom ein, so wird der Elektromagnet erregt und die schwere Kupferplatte bleibt trotz ihres Beharrungsvermögens, wonach sie weiterschwingen möchte, im Augenblick stehen.

VI. Induktionsströme.

Die bisher betrachteten Magnetoinduktionserscheinungen erstreckten sich nur auf Induktionsstöße oder Stromimpulse, die mit den denkbar einfachsten Mitteln hervorgebracht wurden. Die Versuche waren aber notwendig, um das Verständnis der nun folgenden Induktionsströme zu erleichtern. Ein Induktionsstrom entsteht, wenn die einzelnen Stromimpulse so rasch aufeinanderfolgen, daß sie mit gewöhnlichen Mitteln nicht mehr als Stromimpulse erkannt werden können. Wegen dieser raschen Aufeinanderfolge heißen auch die in der Sekundärspule eines Funkeninduktors entstehenden Stromimpulse Induktionsströme; ebenso kann man auch in der Telephonie von Induktionsströmen sprechen. — Durch geeignete Anordnungen lassen sich allerdings viel stärkere Induktionsströme erzielen.

1. Die Entstehung und der Verlauf des Gleichstromes.

Betrachtet man die Fig. 55—58, so sieht man, daß in dem schraffierten Teil der Stromschleife nach den Gesetzen der Magnetoinduktion (S. 104 ff.) zuerst der Strom von vorne nach hinten, nach einer Drehung

um 90° dagegen von hinten nach vorne verläuft. Bei einer weiteren Drehung um 90° ist die Richtung des Stromes in dem schraffierten Teil wieder von hinten nach vorne und bei der letzten Drehung um 90° von vorne nach hinten. Es entstehen also in dem

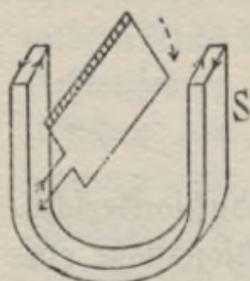


Fig. 55.



Fig. 56.

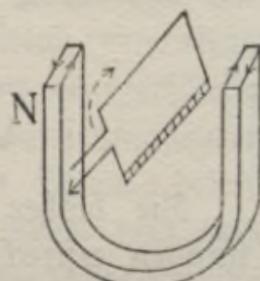


Fig. 57.

schraffierten und selbstverständlich auch in dem anderen Teile der Stromschleife Ströme, die ihre Richtung



Fig. 58.

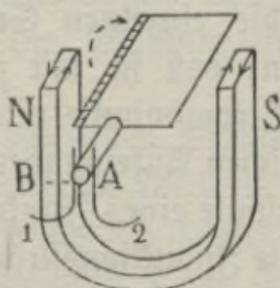


Fig. 59.

wechseln und die daher Wechselströme genannt werden. Durch eine einfache Vorrichtung können die Wechselströme in einen

gleichgerichteten oder Gleichstrom verwandelt werden. Wie aus der Fig. 59 ersichtlich ist, gelangt nach einer Drehung von 180° der schraffierte Teil der Stromschleife von der linken auf die rechte Seite und der Strom verläuft in dem schraffierten Teil in entgegengesetzter Richtung wie im ersten Fall. Da aber inzwischen die Fortsetzung des schraffierten Teiles von der Schleiffeder 1 auf die Schleif-

feder 2 gelangt ist, so verläuft in den Schleiffedern der Strom stets in der nämlichen Richtung. Schaltet man also zwischen den Schleiffedern 1 und 2 irgend einen Apparat ein, so wird dieser Apparat von einem

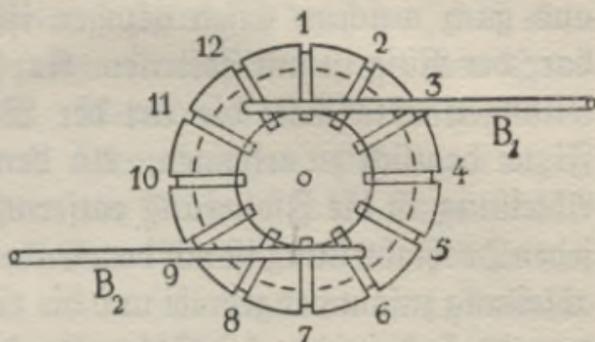


Fig. 60.

Gleichstrom durchflossen. Der so entstandene Gleichstrom ist intermittierend, d. h. bei jeder Drehung erhält z. B. der Lichtfleck des Galvanometers eine

Ablenkung nach derselben Seite, worauf er wieder seine Ruhelage einzunehmen sucht. Mit dem in Fig. 60 und 61 abgebildeten Modell erzielt man

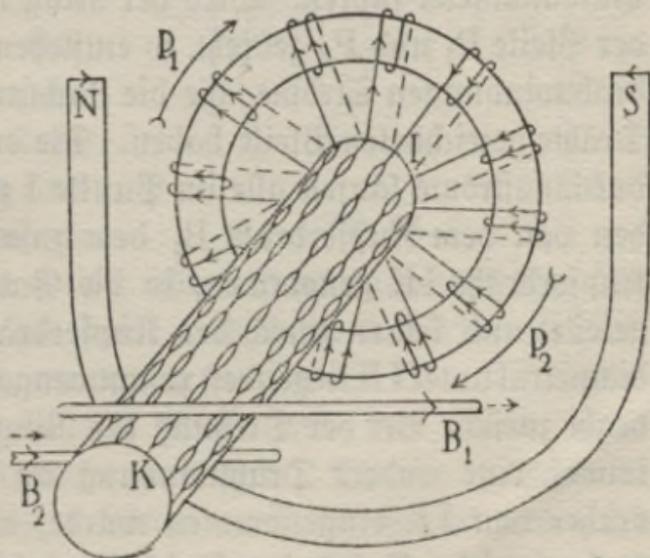


Fig. 61.

einen Gleichstrom, bei dem die einzelnen Stromimpulse rascher aufeinanderfolgen, wodurch der Lichtfleck des Galvanometers dauernd nach derselben

Richtung abgelenkt wird. Die beiden konzentrischen Kreise in Fig. 61 stellen einen aus Blumendraht, der aus ganz weichem Eisen gezogen ist, gewickelten Ring dar; der Ring ist mit isoliertem Kupferdraht in 12 Abteilungen unwickelt; die Art der Wickelung ist in der Figur deutlich zu erkennen. An den Drahtenden jeder Abteilung ist die Isolierung entfernt, der Anfang einer jeden Drahtabteilung ist mit dem Ende der nächsten Drahtabteilung zusammengedreht und die einzelnen Drahtwindungen sind in die 12 Holznuten der Welle eingelegt (Fig. 60). B_1 und B_2 stellen zwei blanke, steife Kupferdrähte dar, die auf den zusammengedrehten Drahtenden schleifen können, und von denen Leitungsdrähte zu einem Galvanometer führen. Wird der Ring in der Richtung der Pfeile P_1 und P_2 gedreht, so entstehen in den Kupferdrahtwindungen Ströme, die die Richtung der auf die Drähte gezeichneten Pfeile haben. Die entstehenden Induktionsströme laufen alle im Punkte I zusammen, werden von dem Kupferdraht B_1 dem zusammengedrehten Kupferdraht IK genommen, in die Galvanometerspule geleitet und kehren durch den Kupferdraht B_2 auf dem diametral unter IK liegenden zusammengedrehten Kupferdraht zurück. Bei der Drehung des Ringes kommt zwar immer eine andere Drahtwindung an die Stelle, die vorher von IK eingenommen wurde, an dem Stromverlauf wird jedoch dadurch nichts geändert. Der Strom verläuft bei jeder Stellung des Ringes in der Weise, wie es in der Figur dargestellt ist und durch die Ablenkung des Lichtflecks ersichtlich gemacht wird.

2. Die Entstehung und der Verlauf des Wechselstromes.

Einen Wechselstrom dadurch zu erzeugen, daß man einen Draht oder eine Stromschleife mit der Hand dreht, ist unbequem. Man wird die drehende Bewegung besser dadurch hervorbringen, daß man einen Holzzylinder, auf dem ein Draht oder die Stromschleife in eine Rinne eingelassen ist, auf eine Achse setzt und den Draht oder die Stromschleife samt dem Zylinder um die Achse dreht. So erhält man ein Wechselstrommodell in der einfachsten Form. Auf ein Stück Holz, das die in Fig. 62 dargestellte Form hat, wird ein ungefähr 10 cm langer Kupferdraht AB in eine Vertiefung einge-

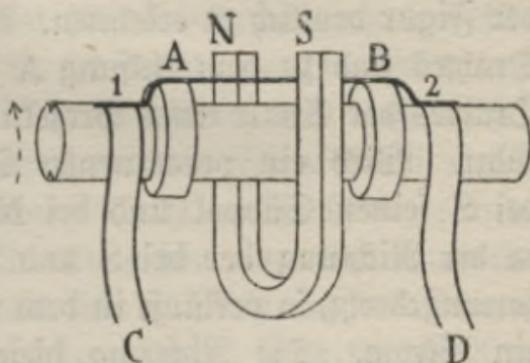


Fig. 62.

lassen. Die ein wenig abwärts gebogenen Enden des Kupferdrahtes sind bei 1 und 2 an kupfernen Schleifringen befestigt, an denen die Federn C und D schleifen, die in bekannter Weise mit der Spule eines Galvanometers verbunden sind. Der Holzzylinder ist in der Mitte seiner Länge nach durchbohrt und wird auf eine Stricknadel geschoben. Die Aussparung des dickeren Teiles des Holzzylinders wird zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten gebracht und dann um die Stricknadel gedreht. Ein Holzgestell, auf dem die Stricknadel gelagert ist, erleichtert die Drehung; auch werden

die Schleiffedern zweckmäßig an dem Holzgestell befestigt. An dem nach verschiedenen Seiten ausschlagenden Lichtfleck erkennt man den bei der Drehung entstehenden Wechselstrom.

Den in der Praxis verwendeten Maschinen nähert sich mehr das auf Tafel IX dargestellte 1. Modell. Hier stellen die beiden schwarz gezeichneten konzentrischen Kreise einen aus Blumendraht gewickelten Ring dar, um den ein isolierter Kupferdraht in einer einzigen Windung gewickelt ist. Die Art der Wickelung ist aus der Figur deutlich zu erkennen. Anfang und Ende des Drahtes sind zu dem Anfang A und dem Ende E des Drahtes der Spule eines Projektionsgalvanometers geführt. Wird ein permanenter Stahlmagnet NS, der bei S seinen Südpol und bei N seinen Nordpol hat, in der Richtung der bei S und N gezeichneten Pfeile herumgedreht, so verläuft in dem rot gezeichneten Draht ein Strom. Die Richtung dieses Stromes ist durch die Pfeile auf dem roten Draht angedeutet. Ist der Magnet um 180° herumgedreht worden, wie aus der links unten befindlichen Figur ersichtlich ist, so verläuft der Strom in dem roten Draht in umgekehrter Richtung wie vorhin. Der Strom wechselt einmal bei jeder vollständigen Umdrehung des Magneten seine Richtung, deshalb heißt der so entstandene Strom Einphasenstrom. Statt den Magneten in einem feststehenden Ring zu drehen, kann man auch den Ring innerhalb eines feststehenden Magneten rotieren lassen. Der rotierende Teil führt den Namen Rotor, während der feststehende Teil als Stator bezeichnet wird. Die

Wirkung ist in diesem Falle ganz die gleiche wie vorhin, nur muß in dem zuletzt genannten Falle, der auf Tafel IX durch das 2. Modell dargestellt ist, die Achse des Ringes mit Schleifringen versehen sein, von denen der Strom abgenommen und zum Projektionsgalvanometer geführt wird. Das 3. Modell zeigt einen Ring aus Blumendraht — dargestellt durch die beiden konzentrischen Kreise — der mit mehreren Windungen eines isolierten Kupferdrahtes in der aus der Figur ersichtlichen Weise umwickelt ist. Durch diese Anordnung wird die Wirkung viel stärker. Dreht man den Magneten ruckweise, z. B. jedesmal um $10\text{--}20^\circ$, so beobachtet man, daß die Stromrichtung stets dieselbe bleibt, solange sich der Südpol an dem roten Draht und der Nordpol an dem grünen Draht vorbei bewegt; in dem Moment, wo der Südpol von dem roten auf den grünen Draht übergeht, ändert sich die Richtung des Stromes. Wird der Magnet rascher bewegt, so wird die Ablenkung des Lichtflecks größer. Aus der Betrachtung der drei Modelle erkennt man, daß das erste und dritte Modell dem zweiten Modell an Einfachheit überlegen sind. Während nämlich beim zweiten Modell Schleifringe zur Stromabnahme erforderlich sind, kann bei dem ersten Modell der Wechselstrom an zwei beliebigen Stellen der Drähte oberhalb des Ringes abgenommen werden. Ebenso erhält man beim dritten Modell den Einphasenstrom dadurch, daß man zwischen die rot und grün gezeichneten Drähte eine Verbrauchsstelle einschaltet. Deshalb wird auch in der Praxis die zuletzt genannte Anordnung bei der Bauart der Maschinen bevorzugt.

Denkt man sich bei dem ersten Modell noch eine zweite Wickelung in genau derselben Weise, aber um 90° von der gezeichneten Wickelung verschoben auf dem Ring angebracht und die Enden dieser Wickelung in der nämlichen Weise mit einem zweiten Galvanometer verbunden, so erhält man einen Zweiphasenstrom, der jedoch in der Praxis fast gar keine Anwendung mehr findet.

3. Die Entstehung und der Verlauf des Drehstromes.

Auf Tafel X stellen wieder die beiden schwarzen konzentrischen Kreise einen Ring aus Blumendraht oder weichem Eisen dar. Der Ring ist mit isoliertem Kupferdraht umwickelt. Die Art der Wickelung ist aus den Figuren zu ersehen. Die Anfänge der roten, grünen und blauen Drahtwindungen sind in einem Punkt (unten) vereinigt, eine Schaltung, die unter dem Namen Sternschaltung bekannt ist. Die Enden der drei Drähte sind durch drei längere Drahtleitungen zu drei Galvanometern $A_1 E_1$; $A_2 E_2$ und $A_3 E_3$ geführt, wie aus den Figuren ersehen werden kann. Diese Art der Galvanometerschaltung, wie hier dargestellt, bezeichnet man als Dreieckschaltung. Wird der permanente Stahlmagnet NS in der Richtung der bei N und S angebrachten Pfeile um 60° gedreht, so erhält man bei den drei Galvanometern verschiedene Ablenkungen, aus denen die Richtung der Ströme, die durch die Galvanometerspulen fließen, erkannt wird. Die Stromrichtungen sind in den Figuren durch Pfeile angedeutet, die auf die zu den Galvanometern führenden Drähte gezeichnet sind. Man erkennt,

daß zuerst in dem rechten Draht (linke Figur) ein Strom zugleich nach aufwärts und nach abwärts verlaufen würde. Es tritt daher in ihm keine Stromwirkung auf. Wird der Magnet um weitere 60° gedreht, so wird der linke Draht stromlos und bei noch weiterer Drehung des Magneten um 60° der mittlere Draht. Die auf die farbigen Drähte gezeichneten Punkte bezeichnen den Draht, der stromlos ist. Wird die Drehung des Magneten immer um je 60° fortgesetzt, so erkennt man aus den Figuren die Symmetrie und die Regelmäßigkeit, mit der die einzelnen Drähte stromlos werden.

Bei der Figur auf der rechten Seite der Tafel X sind die um den Eisenring gewickelten isolierten Kupferdrähte in anderer Weise verbunden. Es hängt nämlich immer der Anfang einer jeden Drahtwindung mit dem Ende der nächsten Drahtwindung zusammen. Man bezeichnet eine solche Schaltung ebenso wie oben die der Galvanometer auch als Dreieckschaltung. Der Stromverlauf in den drei Drähten zeigt dieselbe Regelmäßigkeit wie vorhin bei der Sternschaltung; nur ist zuerst der rote, dann der grüne und zuletzt der blaue Draht stromlos. Dies rührt daher, daß der Magnet NS um 180° gedreht wurde. Es wird daher die gleiche Wirkung erzielt, ob man die Sternschaltung oder die Dreieckschaltung anwendet.

In gleicher Weise wie beim Einphasenstrom kann man auch hier den Ring zwischen den Polen eines Magneten bewegen. Der Ring trägt eine aus den Figuren auf Tafel XI ersichtliche Wickelung und wird in der Richtung der punktierten Pfeile herumgedreht.

Auf der linken Figur sind auf die drei aus dem Modell kommenden Drähte Pfeile gezeichnet, durch die die Stromrichtungen angezeigt werden, wie sie aus den Ablenkungen der Lichtflecke der drei Galvanometer festgestellt wurden. Die Wickelung ist nicht mehr dieselbe wie bei dem auf Tafel X abgebildeten Modell, wo der Magnet nach jeder Drehung um 60° an einer Drahtwindung vorüber geführt wurde. Bei dem Modell auf Tafel XI beträgt die Drehung des Ringes 120° , und man erkennt aus dem eingezeichneten Stromlauffchema, daß der Strom aus einem Draht die Maschine verläßt und durch die beiden andern Drähte in die Maschine zurückkehrt. Die Galvanometer besitzen Sternschaltung. Mit der Veränderung der Wickelung des Ringes ändert sich daher auch das Stromlauffchema. In den auf Tafel XII abgebildeten Figuren ist statt der einzigen Drahtwindung der Tafel X eine in mehreren Windungen um den Eisenring gelegte Wickelung dargestellt. Man erkennt die Dreieckschaltung und aus den bei VI auf die Drähte gezeichneten Pfeilen, daß zuerst der grüne, hierauf der blaue und zuletzt der rote Draht abwechselnd stromlos geworden ist. Durch die Drehung des Magneten NS entstehen in dem Eisenring Magnetpole, die den Ring im Kreise umwandern. Der Magnet NS erzeugt in Verbindung mit den wandernden Magnetpolen in den Windungen des isolierten Kupferdrahtes Induktionsströme, deren Richtungen sich nach dem Prinzip von Le Chatelier-Braun vorausbestimmen lassen.

Die Wirkungen, die mit den soeben beschriebenen Modellen hervorgebracht werden können, sind nicht sehr

in die Augen fallend. Mit dem in Fig. 63 abgebildeten Modell lassen sich schon bedeutend kräftigere Wirkungen erzielen. A stellt den Stromerzeuger, Generator genannt, vor. Innerhalb eines Ringes aus dünnem Eisendraht dreht sich ein kräftiger Hufeisenmagnet, der mittels Schnurlauf durch eine Schwungmaschine in Bewegung gesetzt wird. Der Eisendraht ist mit der von vorhin bekannten Wicklung versehen, die aber jetzt aus 7—8 Lagen iso-

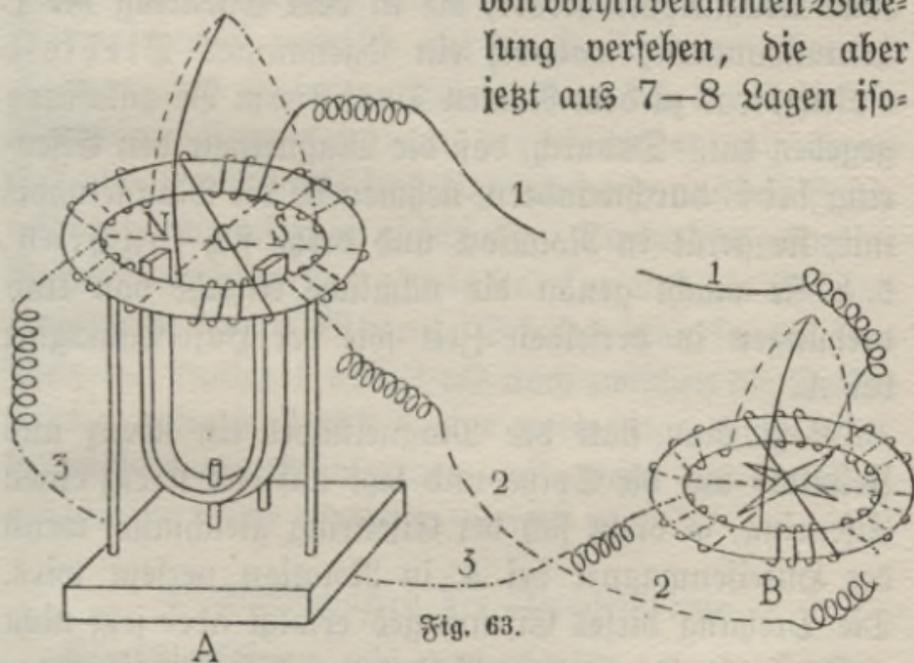


Fig. 63.

lierten Kupferdrahtes besteht und in der Figur in Sternschaltung ausgeführt ist. Die Drähte 1, 2, 3 sind zu einem zweiten Ring B geführt, der ebenso konstruiert ist wie der erste. Man erkennt auch bei B die Sternschaltung, obwohl entweder bei A oder bei B die Dreieckschaltung ebenso zulässig ist. Innerhalb des Ringes B kann sich eine Magnetnadel auf einer Spitze drehen — in der Figur sind zwei Magnetnadeln, die zueinander rechtwinklig stehen,

auf einer Spitze drehbar angeordnet. Die von dem Generator A erzeugten Ströme durchfließen die Kupferdrahtwindungen des Eisenringes bei B. Die Magnetpole in dem Eisenring bei A wandern herum und erzeugen dadurch in den Kupferdrahtwindungen Ströme verschiedener Richtung. Diese Ströme umfließen den weichen Eisenkern bei B und bringen in ihm gleichfalls Magnetpole hervor, die in dem Eisenring bei B herumwandern, wodurch ein sogenanntes Drehfeld entsteht, was zu dem Namen Drehstrom Veranlassung gegeben hat. Dadurch, daß die Magnetpole den Eisenring bei B durchwandern, nehmen sie die Magnetnadel mit; sie gerät in Rotation und dreht sich synchron, d. h. sie macht genau die nämliche Anzahl von Umdrehungen in derselben Zeit wie der Hufeisenmagnet bei A.

Setzt man statt der Magnetnadel ein Kreuz aus Zelluloid auf die Spitze und legt auf das Kreuz einen Eisenring, so dreht sich der Eisenring gleichfalls, wenn der Hufeisenmagnet bei A in Rotation versetzt wird. Die Drehung dieses Eisenringes erfolgt aber jetzt nicht mehr synchron mit der Bewegung des Hufeisenmagneten bei A, sondern asynchron, d. h. der Eisenring bewegt sich nicht mit derselben Geschwindigkeit wie der Hufeisenmagnet. Die in dem Eisenring bei B durch den von A kommenden Drehstrom erzeugten Magnetpole bringen zwar auch in dem auf das Kreuz gelegten Eisenring Magnetpole hervor, aber diese Pole entstehen nicht momentan, sondern erst nach einiger, wenn auch sehr kurzer Zeit. Deshalb bleibt der rotie-

rende Eisenring gegen die wandernden Pole etwas zurück, eine Erscheinung, die mit dem Namen Schlüpfung bezeichnet wird. Das Eisen setzt nämlich sowohl seiner Magnetisierung als auch seiner Entmagnetisierung infolge seiner Koerzitivkraft (Elektrizität I. S. 114) einen Widerstand entgegen. Diese Erscheinung heißt Hysteresis (*ὑστερεῖν*, zurückbleiben). Statt des Eisenringes kann man auch den Deckel einer Salbenschachtel zentrisch auf die Spitze setzen; bei der Drehung des Hufeisenmagneten setzt sich der Deckel in Rotation. Umwickelt man den Eisenring mit einem isolierten Kupferdraht und legt ihn dann auf das Zelluloidkreuz, so rotiert er gleichfalls. Die zuletzt genannte Vorrichtung heißt Kurzschlußanker und die Gesamteinrichtung bei B Motor. Schaltet man sowohl zwischen die Drähte 1 und 2 als auch zwischen die Drähte 2 und 3 sowie 3 und 1 eine zweivoltige Glühlampe, so leuchten die Glühlampen auf, wenn der Hufeisenmagnet in rasche Rotation versetzt wird.

4. Eigenschaften der Wechselströme.

Ein Gleichstrom, wie er durch eine galvanische Batterie oder Akkumulatoren erzeugt wird, hat stets die gleiche elektromotorische Kraft und verläuft stets in derselben Richtung. Ein von einer Dynamomaschine hervorgebrachter sogenannter Gleichstrom verdient diesen Namen nur mit Einschränkung (S. 117). Ein Wechselstrom, der in einfachster Weise mit dem in Fig. 62 abgebildeten Modell hervorgebracht werden kann, hat erstens verschiedene Richtungen und zweitens in jedem

Moment eine andere elektromotorische Kraft. Bewegt sich nämlich die Holzspule samt dem Kupferdraht (Fig. 62) in der Richtung des punktierten Pfeiles, also von vorne nach hinten, so verläuft der Strom in dem Kupferdraht von rechts nach links, würde also von A über die Schleiffeder C nach der Schleiffeder D fließen. Die elektromotorische Kraft erreicht aber nicht gleich beim Beginn der Drehung ihren größten Wert, sondern erst wenn der Kupferdraht von seiner Anfangsstellung aus sich um 90° gedreht hat. Bei der weiteren Drehung um 90° werden weniger Kraftlinien geschnitten, deshalb nimmt die elektromotorische Kraft ab, so daß der Draht nach einer Drehung um 180° von seiner Anfangsstellung aus stromlos geworden ist. Bei der Annäherung an den Südpol verläuft der Strom in dem Draht von links nach rechts, d. h. er würde von B über die Schleiffeder D nach der Schleiffeder C verlaufen. Bei der letzten Drehung um 90° bleibt diese Stromrichtung erhalten, bis der Draht wieder seine ursprüngliche aus der Zeichnung ersichtliche Lage eingenommen hat. Während der Drehung entsteht also in dem Draht eine elektromotorische Kraft oder eine Spannungsdifferenz von wechselnder Richtung, wodurch eben der Wechselstrom hervorgebracht wird. Bei gleichmäßiger Drehung des Kupferdrahtes wird diese elektromotorische Kraft allmählich auch gleichmäßig von Null bis zu einem größten positiven Wert zu und dann wieder abnehmen, bis sie nach einer Drehung um 180° zu Null geworden ist. Hierauf ändert sie ihre Richtung, erreicht ihren größten negativen Wert, um in der aus der

Fig. 62 ersichtlichen Stellung wieder den Wert Null zu erreichen. Man wird sich daher ein Bild von dem Verlauf dieser elektromotorischen Kraft machen können, wenn man ähnlich wie dies bei der Spannungsdifferenz eines galvanischen Elementes geschehen ist (Fig. 3), die

verschiedenen Spannungen senkrecht auf

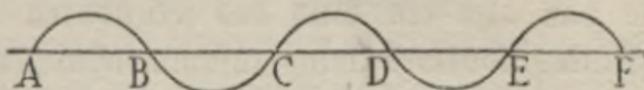


Fig. 64.

eine gerade Linie, die die Null-Linie vorstellen soll, und auf der man sich die einzelnen Zeitabschnitte abgetragen zu denken hat, aufträgt und die Enden der so erhaltenen Strecken durch einen Kurvenzug verbindet. Es leuchtet ein, daß dieser Kurvenzug keine gerade Linie sein kann, sondern eine Wellenlinie von der in Fig. 64 gezeichneten Form sein wird. Diese Wellenlinie führt den Namen Sinuslinie.

Man könnte vermuten, auch der in der Sekundärspule eines Funkeninduktorsentstehende Wechselstrom habe die Form einer Si-

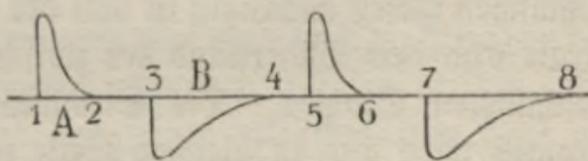


Fig. 65.

muslinie. Eine nähere Betrachtung ergibt jedoch, daß dies nicht der Fall sein kann. Beim Öffnen des Hauptstromes wächst die Induktionsspannung plötzlich zu ihrer vollen Stärke an und fällt gleich darauf wieder auf Null. Bis der Hauptstrom wieder geschlossen wird, vergeht $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{2000}$ Sekunde. Während dieser Zeit herrscht in der Sekundärspule keine Spannung. Beim Schließen des Haupt-

stromes wächst die Spannung des Induktionsstromes langsam in entgegengesetzter Richtung, aber nicht auf eine solche Höhe an wie der Induktionsöffnungsstrom, und fällt hierauf wieder ab. Solange der Hauptstrom geschlossen ist, entsteht gleichfalls kein Induktionsstrom, so daß also ein Bild des sekundären Stromes eines Funkeninduktors keine zusammenhängende Linie, sondern ein an gewissen Stellen unterbrochener Kurvenzug sein wird. Fig. 65 stellt die Spannungskurve des Induktionsstroms eines Funkeninduktors dar, und zwar entspricht der erste Teil A dem Induktionsöffnungsstrom und der zweite Teil B dem Induktionsschließungsstrom usw.

Verbindet man (Fig. 62) die Schleiffeder C mit einer Sammelschiene und die Schleiffeder D mit einer zweiten Sammelschiene und schließt die beiden Sammelschienen durch einen Leitungsdraht, so fließt in diesem Leitungsdraht ein Strom, dessen Stärke nach dem Ohm'schen Gesetz abhängig ist von der elektromotorischen Kraft und dem Widerstand des zwischen C und D eingeschalteten Drahtes. Die Stromstärke des Wechselstromes wird also in gleicher Weise zu- und abnehmen wie die elektromotorische Kraft und wird daher durch die gleiche Kurve wie vorhin (Fig. 64) dargestellt werden können. Außer der Spannung und der Stromstärke hat man aber bei einem Wechselstrom noch die Periode zu berücksichtigen, d. h. wenn der Kupferdraht einmal um 360° herumgedreht wurde, wiederholt sich dann der gleiche Vorgang, und man bezeichnet den Wellenzug von A bis C (Fig. 64) als die Periode

des Wechselstroms. Auch der Induktionsstrom eines Funkeninduktors besitzt eine Periode 1 bis 5 (Fig. 65).

Es muß nun festgestellt werden, was man im täglichen Leben unter Spannung und Stromstärke eines Wechselstroms versteht. Sowohl die Spannung als auch die Stromstärke ändern sich in jedem Augenblick. Man wird nun nicht den größten Wert oder den kleinsten, nämlich den Nullwert einer Spannung, als Maß für die Spannung nehmen, sondern einen mittleren Wert und zwar, wie durch höhere Rechnung gezeigt werden kann, das 0,637-fache des Maximalwertes. Ebenso wird als Maß für die Stromstärke ein bestimmter mittlerer Wert aus allen einzelnen Werten der Stromstärke angenommen und zwar gleichfalls das 0,637-fache des Maximalwertes der Stromstärke; man bezeichnet diesen Wert als die mittlere Stromstärke, ebenso wie das 0,637-fache des Maximalwertes der Spannung als die mittlere Spannung bezeichnet wird. Außerdem unterscheidet man noch die Phasen der Bewegung, worunter man den Winkel versteht, um den sich der Leiter aus seiner ursprünglichen Lage gedreht hat. Bei der Phase Null ist also die Spannung Null und wird bei der Phase 90° am größten. Der Wechselstrom kann etwas verwickelter gestaltet werden, wenn man bei IK (Fig. 66) noch einen Kupferdraht anbringt, ihn ebenso biegt wie den oberen Kupferdraht AB und seine Enden an zwei neuen Schleifringen befestigt, auf denen gleichfalls Federn C_1 und D_1 schleifen. Wird jetzt die Vorrichtung wieder gedreht, so erhält man zwei verschiedene Wechselströme. Man sieht, daß

die beiden Wechselströme die nämliche Periode und die gleiche Spannungsdifferenz besitzen. Aber sie unterscheiden sich in ihrer Phase. In der aus der Fig. 66 ersichtlichen Stellung haben beide Wechselströme einen

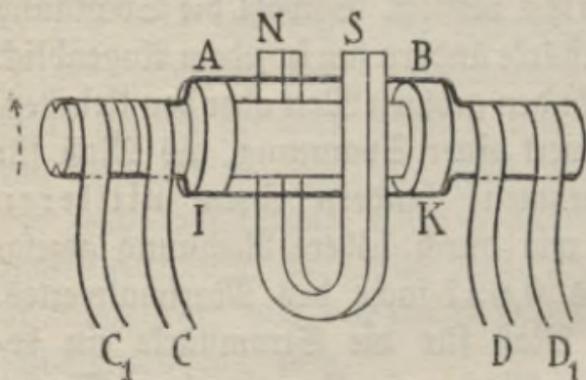


Fig. 66.

Phasenunterschied von 180° . Werden die Kupferdrähte in der Richtung des punktierten Pfeiles gedreht, so verläuft in dem oberen Kupferdraht der Strom

von rechts nach links und im unteren von links nach rechts. Leitet man daher die Schleiffedern C und C₁ auf eine Sammelschiene und die Schleiffedern D und D₁ auf

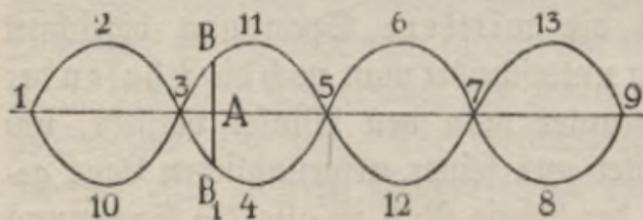


Fig. 67.

eine zweite Sammelschiene, so erhält man keinen Strom, wenn man die beiden Sammelschienen durch einen Draht verbindet. Der durch die Drehung des Drahtes AB hervorgebrachte Strom wird durch die Wellenlinie 1, 2, 3... 9 (Fig. 67) dargestellt, während der Strom, der durch die Drehung des Drahtes JK entsteht, durch die Wellenlinie 1, 10, 3, 11, 5, 12, 7, 13, 9 dargestellt ist. Da in jedem Punkt des Stromverlaufes

zwei gleich große, aber entgegengesetzte Spannungen vorhanden sind, z. B. AB und AB_1 , so heben sich diese Spannungen auf und man wird den Sammelschienen keinen Strom entnehmen können. Dagegen wird man einen Strom erhalten, wenn man die Schleiffedern C und D_1 an die eine und die Schleiffedern C_1 und D an die andere Sammelschiene leitet und die Sammelschienen durch einen Draht verbindet.

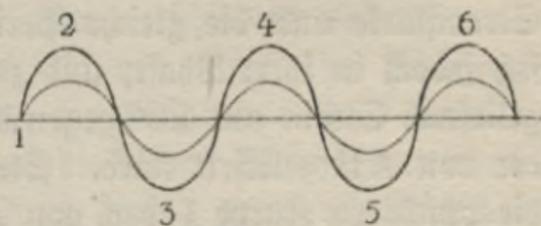


Fig. 68.

In diesem Fall ist die resultierende Spannungsdifferenz gleich der Summe der beiden entstehenden einzelnen Spannungsdifferenzen und wird durch die Kurve 1, 2, 3, 4, 5, 6 (Fig. 68) dargestellt.

Bringt man aber den Kupferdraht IK nicht um 180° , sondern um 90° von dem ersten Kupferdraht entfernt an, so daß er die Lage $J_1 K_1$ besitzt (Fig. 69),

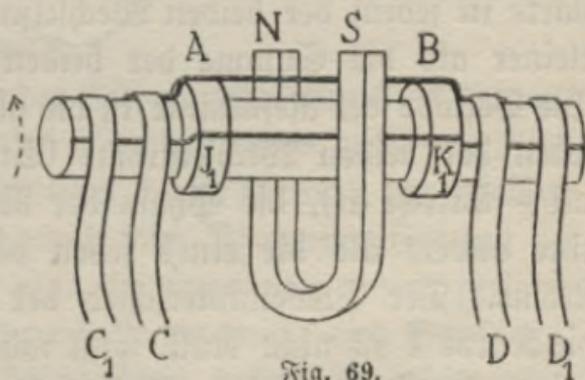


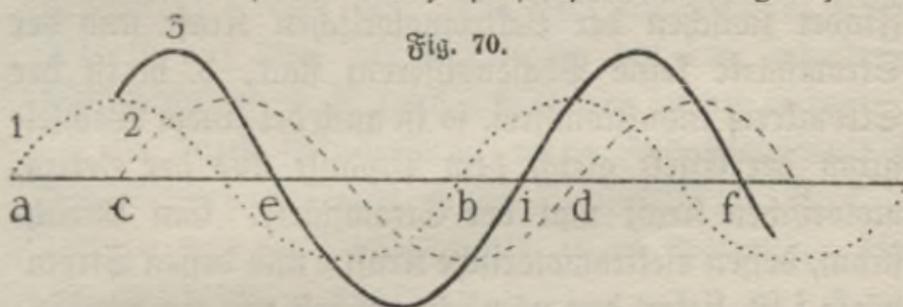
Fig. 69.

führt das bei A liegende Ende des Drahtes mittels der Schleiffeder C an eine Sammelschiene, ebenso das bei B liegende Ende des Drahtes mittels der Schleiffeder D an eine zweite Sammelschiene und verfährt in gleicher Weise mit dem Draht $J_1 K_1$, so kann man, wenn die beiden Sammelschienen durch einen Leitungsdraht, in

den ein Galvanometer eingeschaltet ist, verbunden werden, an der Ablenkung des Lichtflecks den entstandenen Strom beobachten. Dieser setzt sich aus dem von AB und aus dem von J_1K_1 gelieferten Strom zusammen. Beide Ströme haben die gleiche Spannung, die gleiche Stromstärke und die gleiche Periode, sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Phase, und zwar ist der von J_1K_1 gelieferte Strom um 90° gegen den Strom verschoben, der von AB geliefert wird. Stellt daher in Fig. 70 die punktierte Kurve 1 den von AB hervorgebrachten, die gestrichelte Kurve 2 den von J_1K_1 gelieferten Strom vor, so wird die stark ausgezogene Kurve 3 die Resultante der beiden Wechselströme sein. Aus dem Anblick der Fig. 70 geht hervor, daß die maximale Stromstärke in der Resultante zwar größer als die maximale Stromstärke in jedem der beiden Wechselströme, aber zugleich kleiner als die Summe der beiden Wechselströme ist. Die Periode der Resultante ist die gleiche wie die eines jeden der beiden Wechselströme (Strecke $ab =$ Strecke $cd =$ Strecke ef), die Phase der Resultante ist jedoch eine andere als die eines jeden der beiden Wechselströme. Der Phasenunterschied der Resultante gegen die Kurve 1 ist nicht Null, sonst würde die Resultante bei a oder b durch den Nullpunkt gehen, auch nicht 90° , sonst ginge sie bei c oder d durch den Nullpunkt. Ihr Phasenunterschied liegt, wie aus der Fig. 70 ersichtlich ist, zwischen 0° und 90° und beträgt in unserem Falle 45° , da die Resultante in der Mitte i der Strecke bd durch den Nullpunkt geht. Aus dieser Betrachtung folgt: Wenn zwei Wechselströme von gleicher

Periode, aber verschiedenen Phasen, durch einen Leiter verlaufen, so hat der resultierende Wechselstrom eine andere Phase als jeder der Wechselströme, aus denen er zusammengesetzt ist. Es tritt eine Phasenverschiebung ein.

Während sich also zwei verschiedene Gleichströme nur durch ihre Stromstärke und durch ihre Richtung unterscheiden und daher die Resultante ihrer Stromstärken in dem Fall, daß die beiden Gleichströme durch einen und denselben Draht fließen, entweder gleich der



Summe oder gleich der Differenz der einzelnen Stromstärken ist, ist dies bei Wechselströmen nicht der Fall. Außer der schon ermittelten, durch Kurve 3 dargestellten Stromstärke kommt noch die Phasenverschiebung in Betracht. Schaltet man in einen von einem periodischen Wechselstrom durchflossenen Leiter eine Spule ein, die eine große Selbstinduktion besitzt, so erleidet der Wechselstrom in der Spule durch die Selbstinduktion Veränderungen. In dem Moment, wo der Wechselstrom durch Null geht und seine Richtung wechselt, ist die elektromotorische Kraft des Extraströmes am größten, hat also eine andere Phase als die äußere elektromotorische Kraft; daher wird der resultierende Strom, der

durch das Zusammenwirken der beiden elektromotorischen Kräfte hervorgebracht wird, eine Phasenverschiebung gegen die äußere elektromotorische Kraft, durch die er erzeugt wird, besitzen. Dies ist nun von großem Einfluß auf den Effekt oder auf die Anzahl der Watt, die ein Wechselstrom besitzt. Bei Gleichströmen ist der Effekt stets gleich dem Produkt aus der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke. Bei einem Wechselstrom versteht man unter Watt den Mittelwert aus allen Effekten, die er während einer halben Periode hat. Findet zwischen der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke keine Phasendifferenz statt, d. h. ist der Stromkreis induktionsfrei, so ist auch bei einem Wechselstrom der Effekt gleich dem Produkt aus der elektromotorischen Kraft mal der Stromstärke. Ein Gleichstrom, dessen elektromotorische Kraft e und dessen Stromstärke i ist, liefert den nämlichen Effekt wie ein Wechselstrom, wenn dessen Maximalwert der elektromotorischen Kraft $1,414 e$ und sein Maximalwert der Stromstärke $1,414 i$ ist. Dies ergibt sich durch Vergleichung der von dem Gleichstrom und von dem Wechselstrom hervorgebrachten Wärmemenge.

Bringt man statt der zwei Drähte AB und $J_1 K_1$ (Fig. 69) drei Drähte auf der Holzspule an, so daß die Drähte um 120° voneinander abstehen, so erhält man drei Wechselströme von gleicher Periode, gleicher elektromotorischer Kraft und gleicher Stromstärke, die aber einen Phasenunterschied von 120° besitzen. Fig. 71 gibt ein Bild der elektromotorischen Kräfte dieser drei Wechselströme, wenn die Enden die Drähte in der be-

kannten Weise zu Schleifringen und von da durch Schleiffedern auf Sammelschienen geführt werden. Die punktiert gezeichnete Kurve 1 stellt den im ersten Draht, die gestrichelte Kurve 2 den im zweiten Draht und die strich-punktierte Kurve 3 den im dritten Draht hervor-

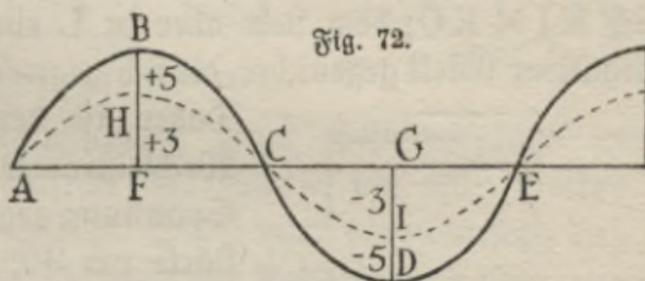


gebrachten Strom dar. Die stark ausgezogene Kurve AB ist ein Bild der Resultante der drei erhaltenen Wechselströme, d. h. man erhält gar keinen Strom.

Da durch Einschaltung einer Induktionsspule in den Schließungsdraht eines Wechselstroms Veränderungen hervorgebracht werden, ist es notwendig, diese Veränderungen

näher zu betrachten.

Wird in Fig. 72 die Stromstärke eines Wechselstroms



durch die Kurve ABCDE und die Spannung durch die Kurve AHICIE dargestellt, so ist der Effekt in F gleich $FH \times BF$ oder in dem in der Figur angenommenen Fall gleich 15. Der Effekt in G ist aus dem gleichen Grund + 15. In A ist der Effekt gleich Null, ebenso in C und E. In den zwischen A und E liegenden Punkten ist der Effekt kleiner als 15, aber positiv und in den

zwischen C und G liegenden Punkten ebenfalls kleiner als 15, aber gleichfalls positiv. Deshalb wird der tatsächliche Effekt ein mittlerer Wert zwischen Null und 15 sein und zwar in unserem Fall $7\frac{1}{2}$.

Ist jedoch die Spannung gegen die Stromstärke

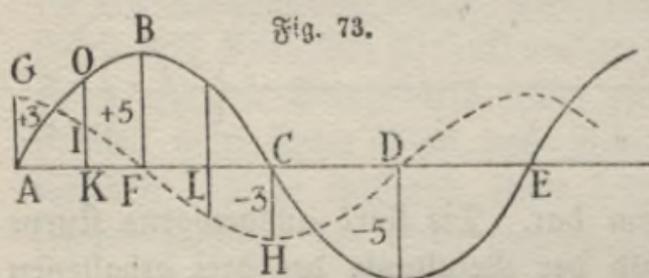


Fig. 73.

um 90° verschoben (Fig. 73), so ist in A der Effekt gleich Null, weil die Stromstärke

Null ist, in F ist der Effekt gleich Null, weil die Spannung Null ist, in C ist der Effekt Null, weil die Stromstärke Null ist, usw. In den noch übrigen Punkten, z. B. in K, erhält man zwar einen Effekt, der positiv ist, nämlich $KI \times KO$; dem steht aber in L ein gleich großer negativer Effekt gegenüber, die sich gegenseitig aufheben.

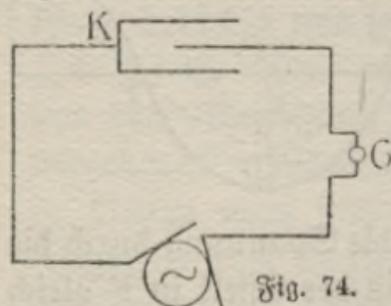


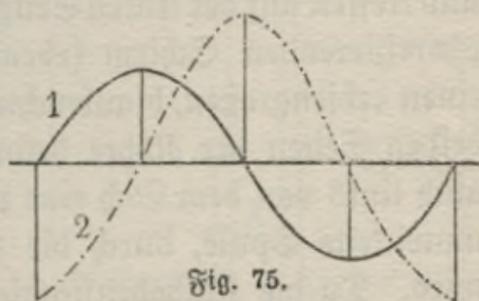
Fig. 74.

Daher ist der Effekt eines Wechselstromes, in dem die Spannung gegen die Stromstärke um 90° verschoben ist, gleich Null. Man erhält einen wattlosen Wechselstrom.

Schaltet man statt der Selbstinduktion in einen Wechselstromkreis einen Kondensator K (Elektrizität I. S. 74) ein, so verlaufen in dem Stromkreis (Fig. 74) zweierlei Ströme, nämlich die von der Wechselstrommaschine ausgehenden Ladungs- und die von dem Kondensator herrührenden Entladungs-

ströme, durch die z. B. eine Glühlampe G zum Leuchten gebracht werden kann. Wird statt der Wechselstrommaschine eine Gleichstrommaschine benutzt, so ist der Stromkreis durch den Kondensator unterbrochen und die Glühlampe leuchtet nicht auf. Durch die Einschaltung des Kondensators in den Wechselstromkreis wird die Spannung verändert, da der Kondensator das Maximum seiner Spannung besitzt, wenn der Strom durch den Nullpunkt fließt. Deshalb hat die Spannung des Kondensators eine Phasendifferenz von 90° gegen den Strom. Stellt in Fig. 75 die ausgezogene Linie 1 die

Kurve des Wechselstromes und die strich-punktierte Kurve 2 die Spannungskurve des Kondensators vor, so sieht man, daß der Strom der Spannung um 90° vorausläuft,



während bei Einschaltung einer Selbstinduktion in einen Wechselstromkreis der Strom um 90° hinter der Spannung verläuft. Dabei wird vorausgesetzt, daß entweder nur die Wirkung des Kondensators oder nur die Wirkung der Selbstinduktion, nicht beide zugleich, zur Geltung kommen. Schaltet man daher in einen Wechselstromkreis sowohl eine Selbstinduktion als auch eine Kapazität ein, so lassen sich diese beiden so dimensionieren, daß die Spannung gegen die Stromstärke keinen Phasenunterschied besitzt, wie es tatsächlich der Fall ist, wenn in einen Wechselstromkreis nur Glühlampen eingeschaltet sind.

Diese beschriebenen Erscheinungen können sichtbar gemacht werden durch eine Versuchsanordnung, wie sie auf Taf. III abgebildet ist. Ein luftleer gemachtes Glasrohr — die sogenannte „Braunsche Röhre“ — besitzt in seiner Mitte einen Einsatz aus Glas mit einem kleinen Loch im Mittelpunkt. Von einer Influenzmaschine (Taf. II, Teil I) oder von der Sekundärspule eines Funkeninduktors wird ein Strom in geeigneter Weise durch die Braunsche Röhre geschickt. Die Kathodenstrahlen (Bugge, Strahlungsercheinungen. Büch. d. Naturw. Bd. 4, S. 25 ff.) gehen durch das Loch und treffen auf der linken Seite der Glasröhre einen phosphoreszierenden Schirm (ebenda S. 29), auf dem sie einen erbsengroßen, blauleuchtenden Fleck erzeugen. Auf beiden Seiten der Röhre befindet sich sowohl rechts als auch links von dem Loch eine mit isoliertem Kupferdraht umwickelte Spule, durch die ein Wechselstrom geschickt wird. Da die Kathodenstrahlen sehr leicht durch einen Magneten oder durch ein elektrisches Feld abgelenkt werden können (Bugge S. 33), so erscheint auf dem phosphoreszierenden Schirm ein blauleuchtender Streifen. Der Lichtfleck wird nämlich durch den wechselnden Magnetismus der Drahtspulen einmal nach oben und gleich darauf nach unten abgelenkt, und zwar erfolgt diese Ablenkung in jeder Periode des Wechselstromes, also bei den gewöhnlichen Wechselstrommaschinen 50mal in der Sekunde nach oben und 50mal nach unten. Das Auge ist aber nicht imstande, die so rasch aufeinanderfolgenden Ablenkungen getrennt wahrzunehmen, und sieht daher einen Lichtstreifen. Man kann aber

statt des Lichtstreifens die Sinuslinie (S. 129) sichtbar machen, wenn man den Lichtstreifen in einem Spiegel betrachtet, der in folgender Weise in Rotation versetzt wird. Links auf dem Tische ist ein sogenannter Synchronmotor (S. 126) aufgestellt, der an seiner drehbaren Achse einen Spiegel trägt. Der Synchronmotor besteht aus einem kreisförmigen Bau von weichen Eisenstäben, die von den auf der Tafel sichtbaren Spulen magnetisiert werden. Wird er durch denselben Wechselstrom in Rotation versetzt, der die Magnetisierung der Drahtspulen an der Braunschener Röhre bewirkt, so erblickt man in dem Spiegel eine blauleuchtende Sinuslinie.

Noch deutlicher kann man die oben beschriebenen Vorgänge erkennen mit dem von der Firma Siemens und Halske konstruierten

Oszillographen (Oscillum, die Schaufel) Fig. 76, der aus einer Drahtschleife $D_1 D_2$ — der Meßschleife — besteht, die über zwei Stege und eine Rolle geführt ist und durch eine Feder F gespannt werden kann. Der Draht der Meßschleife besitzt eine Dicke von 0,01 mm und trägt einen Spiegel A von 1 qmm Größe; das Gewicht der Meßschleife samt dem Spiegel beträgt noch nicht 0,5 mg.

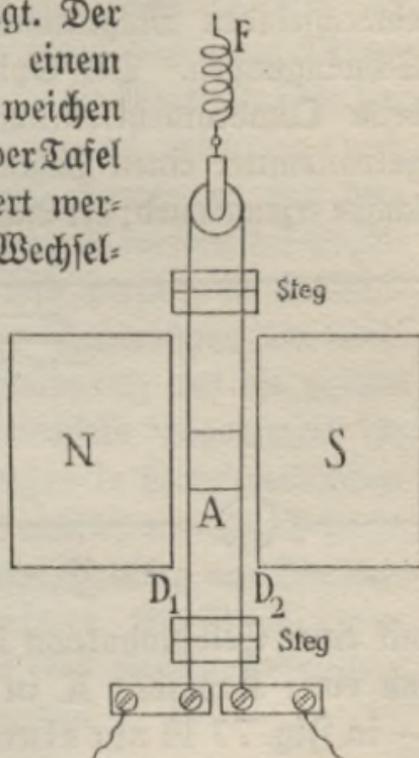


Fig. 76.

Die Meßschleife befindet sich zwischen den Polen eines Elektromagneten, der durch einen Wechselstrom erregt wird. Infolge des verschwindend kleinen Gewichtes kann die Meßschleife samt dem Spiegel allen magnetischen Impulsen rasch folgen und gerät daher durch den abwechselnden Magnetismus der Pole N und S in Schwingungen. Der Spiegel A reflektiert ähnlich wie beim Quadrantenelektrometer und dem Projektionsgalvanometer einen Lichtstrahl, der von einer Bogenlampe erzeugt wird; der Lichtstrahl trifft auf eine photogra-

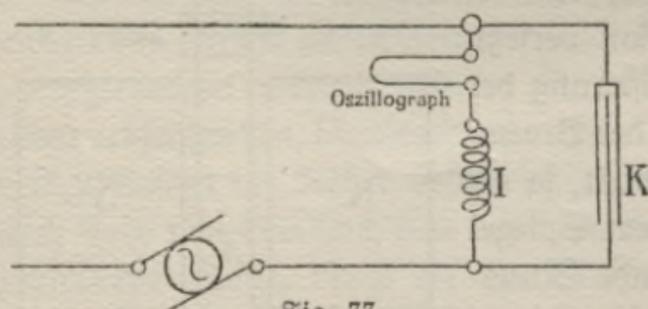


Fig. 77.

phische Platte und bringt dort ein Bild seiner Bewegung hervor. Schaltet man z. B. Fig. 77 die Meßschleife zugleich

mit einer Selbstinduktion I und eine zweite Meßschleife mit einer Kapazität K in einen Wechselstromkreis ein — in Fig. 77 ist nur eine Meßschleife eingeschaltet —, so erhält man auf dem photographischen Bild die Spannungs- und die Stromkurven untereinander, was eine bequemere Vergleichung ermöglicht.

In der Praxis ist es von Wichtigkeit, zu wissen, wie groß die Anzahl der Perioden eines Wechselstromes in einer Sekunde ist; sie ergibt sich aus der Tourenzahl und der bekannten Bauart der Wechselstrommaschine. Die Tourenzahl einer Maschine ist aber nicht konstant, und deshalb ist es notwendig, einen Apparat zu be-

figen, der die Periodenzahl oder die Frequenz rasch erkennen läßt. Ein solcher Frequenzmesser besteht aus einer Anzahl von Stahlzungen von verschiedener Länge, Breite und Dicke, die an einem Ende eingeklemmt und parallel nebeneinander angeordnet sind, jede Stahlzunge kann in einer Sekunde eine bestimmte Anzahl von Schwingungen machen, die ihrer Länge, Breite und Dicke entspricht. Die Stahlzungen befinden sich zwischen den Polen von Elektromagneten, die durch den Wechselstrom erregt werden. Durch den von dem Wechselstrom erzeugten Magnetismus werden die Stahlzungen in Bewegung gesetzt und geraten in Schwingungen, und zwar werden die Stahlzungen am stärksten schwingen, deren Eigenschwingung auf die gerade vorhandene Anzahl von Polwechseln abgestimmt ist, während die anderen Stahlzungen in Ruhe verbleiben oder nur kleine Schwingungen ausführen. Durch solche Frequenzmesser wird die Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen (S. 159) erleichtert. Mit Zungen von flaschenförmiger Form können bis 3000 Polwechsel in einer Sekunde angezeigt werden.

VII. Elektrische Maschinen.

Früher wurden die elektrischen Maschinen in drei Gruppen eingeteilt, in elektromagnetische, magnetoelektrische und Dynamomaschinen. Zu den elektromagnetischen rechnet man die Maschinen, bei denen durch galvanische Elemente oder durch Afflu-

mulatoren ein Elektromagnet erregt wird, der einen Anker anzieht. Durch automatische Unterbrechung des Stromes verschwindet die Anziehungskraft des Elektromagneten wieder, und der Anker geht zurück. Die geradlinige Bewegung des Ankers wird durch eine Pleuelstange in eine rotierende umgewandelt und auf ein Rad übertragen. Mit einer solchen in ein Boot eingebauten elektromagnetischen Maschine fuhr v. Jacobi (Günther II. S. 168) im Jahre 1838 auf der Nawa bei St. Petersburg. Rotierende Wirkungen können auch in der Weise hervorgebracht werden, daß man einen Elektromagneten sich über, unter oder zwischen den Polen eines permanenten Magneten bewegen läßt, wobei im geeigneten Moment durch eine Vorrichtung der Strom umgekehrt wird, so daß die rotierende Bewegung ihre Richtung beibehält. Schließlich werden noch solche Maschinen hergestellt, bei denen der permanente Magnet durch einen Elektromagneten ersetzt ist. Der S. 46 f. beschriebene Motor von Page gehört gleichfalls zu den elektromagnetischen Maschinen, außerdem alle die von der Spielzeugindustrie hergestellten elektromagnetischen Apparate, zu deren Betrieb galvanische Elemente oder Akkumulatoren notwendig sind. Bei den elektromagnetischen Maschinen wurde die zum Betrieb notwendige Energie galvanischen Elementen entnommen, in denen Zink verbraucht wird. Da sich die Kosten des Zinks aber 15mal höher stellen als der Verbrauch von Kohlen in Dampfmaschinen bei gleicher Leistungsfähigkeit, so ist es einleuchtend, daß die elektromagnetischen Maschinen keinen Eingang in

die Praxis finden konnten. In neuerer Zeit werden auch große Elektromotoren mittels Akkumulatoren angetrieben, so daß sich die oben angegebene Einteilung nicht mehr ganz aufrecht erhalten läßt.

Bei den magnetelektrischen Maschinen wird durch einen oder durch eine ganze Reihe von permanenten Hufeisenmagneten ein magnetisches Feld (Elektrizität I. S. 124) hervorgebracht, in dem Kraftlinien verlaufen. In dem magnetischen Feld wird durch Anwendung von Kraft ein Anker in rotierende Bewegung gesetzt, der aus weichem Eisen besteht, das mit isoliertem Kupferdraht umwickelt ist. Die Kupferdrähte schneiden die magnetischen Kraftlinien, wodurch Induktionsströme entstehen, die entweder direkt als Wechselströme oder, nachdem sie durch eine Vorrichtung in Ströme von der nämlichen Richtung umgewandelt worden sind, als Gleichströme benutzt werden. Diese magnetelektrischen Maschinen finden in der Gegenwart Anwendung in der Heilkunde, wo sie zur Erzeugung von Wechselströmen im Gebrauche sind. Vielfach wird jedoch auch in der Heilkunde die Elektroinduktion zur Erzeugung von Wechselströmen benutzt, die durch Apparate hervorgebracht werden, die vollständig einem Funkeninduktor gleichen. Der eine Pol der Sekundärspule endigt in einer mit einem angefeuchteten Flanell überzogenen Metallplatte, während mit dem andern ein Leitungsdraht verbunden ist, der an seinem Ende entweder gleichfalls eine solche Metallplatte trägt oder mit einem Metallpinsel versehen ist, womit einzelne Teile des menschlichen Körpers bestrichen werden.

Außerdem sind die magnetelektrischen Maschinen gegenwärtig noch beim Eisenbahnbetrieb und bei Telephonanlagen in kleineren Orten als Anrufapparate, sowie beim automatischen Telephonbetrieb zum Anrufen der Nebenstellen in Verwendung. Ebenso wird die elektrische Zündung bei Explosionsmotoren (Geigel, Die Wärme. Büch. d. Naturw. Bd. 10, S. 141) durch magnetelektrische Maschinen bewirkt. Denkt man sich längs der Achse eines eisernen Zylinders auf zwei diametral gegenüberliegenden Seiten eine Partie heraus-

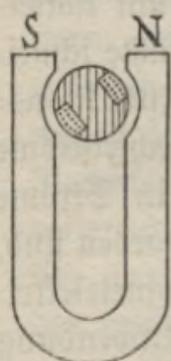


Fig. 78.

geschnitten und in den so entstandenen rechteckigen Raum einen isolierten Kupferdraht gewickelt, so erhält man einen Anker, auch Armatur genannt, der nach seiner Form den Namen Doppel-T-Anker erhalten hat (Fig. 78). Dieser Anker wird mit einer Zahnradübersetzung zwischen den Polen einer Anzahl Hufeisenmagnete NS, die zwischen ihren Schenkeln ein magnetisches Feld erzeugen und deshalb auch Feldmagneten

genannt werden, herumgedreht (Fig. 79). Die dadurch entstandenen Wechselströme werden direkt als solche benutzt, um ein elektrisches Läutwerk auf den sogenannten Stellwerken zum Erönen zu bringen, damit dort die richtigen Ein- und Ausfahrtswechsel gezogen werden können. Man kann die Wechselströme auch in einen Gleichstrom verwandeln und dadurch die Abfahrt eines Eisenbahnzuges den Streckenwärtern und der nächsten Bahnstation bekanntgeben. Durch den beim Drehen des Doppel-T-Ankers entstehenden

Induktionsstrom wird in den Läutbuden ein Läutwerk ausgelöst, wodurch auf zwei Glocken Signale gegeben werden. Selbstverständlich bleibt die Wirkung die gleiche, wenn statt der permanenten Hufeisenmagneten Elektromagnete verwendet werden.

Im übrigen sind die magnetelektrischen Maschinen vollständig durch die Dynamomaschinen verdrängt worden. Die Erfindung der dynamoelektrischen Maschinen wurde eingeleitet durch das von Werner Siemens (Günther II. S. 168) im Jahre 1867 entdeckte sogenannte dynamoelektrische Prinzip. In jedem Eisen befindet sich mehr oder weniger remanenter Magnetismus (Elektrizität I. S. 122); daher kann jedes Stück Eisen als ein sehr schwacher Magnet angesehen werden. Wird zwischen den Schenkeln eines hufeisenförmigen Eisenstückes, das mit isoliertem Kupferdraht umwickelt ist, ein gleichfalls mit isoliertem Kupferdraht umwickeltes Stück weiches

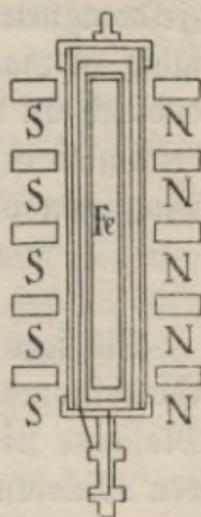


Fig. 79.

Eisen, der Anker, gedreht, so entstehen in dem Draht Induktionsströme von ganz geringer Stärke. Die so entstandenen Induktionsströme werden nun um die Schenkel des Hufeisens geführt; dadurch wird der Magnetismus in dem Hufeisen verstärkt. Infolgedessen entstehen wieder stärkere Induktionsströme in dem Anker, die ihrerseits wieder verstärkend auf den Magnetismus des Hufeisens wirken. Diese Verstärkung dauert so lange an, bis das Eisen einen möglichst hohen Grad von Magnetismus er-

reicht oder bis alle Molekularmagneten sich geordnet haben. Man nennt eine solche Maschine, bei der der induzierte Strom selbst zur Magnetisierung der Feldmagneten dient, eine dynamoelektrische oder Dynamomaschine. Manchmal kommt es jedoch auch vor, daß der remanente Magnetismus vollständig verschwunden ist; dann genügen einige galvanische Elemente, mit denen man einen Strom um die Feldmagneten schießt, die Feldmagneten zu erregen und so die Maschine betriebsfähig zu machen. Selbstverständlich ändert sich jedoch dadurch an den bisherigen Betrachtungen nichts, da es belanglos ist, ob das magnetische Feld von permanenten Magneten oder von Elektromagneten gebildet wird.

1. Die Gleichstrommaschinen.

Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, eine wirkliche Gleichstrommaschine zu erzeugen. Es müßte dies eine Maschine sein, in der ein Strom erzeugt wird, der in den Wicklungen der Maschine ebenso wie im äußeren Stromkreis in gleicher Richtung und mit konstanter Stärke fließt. Man könnte dies mit der Unipolar-Scheiben-Anker-Maschine (S. 114) erreichen; da aber aus einer solchen Maschine nur bei sehr hohen Tourenzahlen elektromotorische Kräfte verwendbarer Größe zu gewinnen sind, müssen Gleitgeschwindigkeiten bis zu 240 m in der Sekunde zur Anwendung kommen. Es sind zwar schon solche Maschinen gebaut worden, die eine Leistung von 2000 Kilowatt aufweisen, doch haben sie noch keine große Verbreitung gefunden. Der von einer Gleichstrommaschine, wie sie als ein-

fachstes Modell S. 116 Fig. 59 dargestellt ist, gelieferte Strom hat die in Fig. 80 dargestellte Form. Man kann durch Vermehrung der Spulen und somit auch der Teile, aus denen der Kollektor besteht, dem Gleichstrom eine Form geben, wie sie Fig. 81 darstellt — die Figur entspricht dem Strom, der mit dem Modell Fig. 60 und 61 erhalten wird — aber ihn durch eine gerade Linie darzustellen, ist nicht möglich, wenn sich auch die Fig. 81 einer geraden Linie nähert.

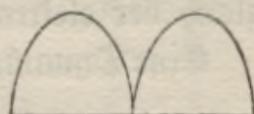


Fig. 80.
Eine Umdrehung.

Es kann nicht geleugnet werden, daß es gelungen ist, sehr gute Dynamomaschinen zu einer Zeit zu bauen, in der man noch nicht tief in die Theorie der Dynamomaschinen eingedrungen sein konnte. Solche Maschinen besitzen aber gegenüber den modernen die doppelte bis dreifache Größe, und es war daher die Aufgabe der Technik, die Maschinen möglichst rationell zu bauen. Man könnte selbstver-

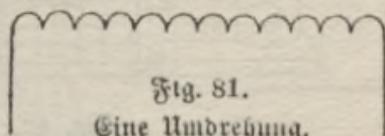


Fig. 81.
Eine Umdrehung.

ständiglich auch magnetelektrische Maschinen von großer Leistungsfähigkeit konstruieren, wenn man die Feldmagneten groß genug machte. Doch würde eine solche Maschine wegen ihrer großen Herstellungskosten in der Praxis keine Verwendung finden können. Bei Erregung der Feldmagnete durch eine galvanische Batterie (der starke Zinkverbrauch würde allerdings dieser Betriebsart entgegenstehen) würde sich eine solche Maschine genau wie ein galvanisches Element verhalten. Ihre elektromotorische Kraft wäre nur abhängig von der Stärke der Feldmagneten, der Touren-

zahl sowie der Lage und Windungszahl des Induktors. Wird der eingeschaltete Widerstand, den die Verbrauchsstelle notwendigerweise mit sich bringt, groß, so wird die Stromstärke klein, nimmt der Widerstand ab, so wächst die Stromstärke, und wenn gar kein Widerstand eingeschaltet oder die Maschine offen ist, so ist die Stromstärke gleich Null und die Klemmenspannung (S. 62) gleich der elektromotorischen Kraft.

Eine Dynamomaschine kann in folgender Weise her-

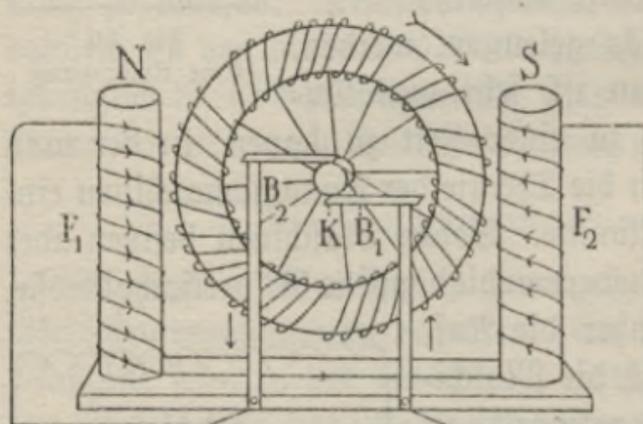


Fig. 82.

gestellt werden: Man wickelt einen Eisendraht in Form eines Ringes — einen massiven Eisenkern darf man wegen der in dem Eisenkern entstehenden Wirbelströme nicht verwenden — und bettet den Ring in ein Isoliermaterial, z. B. Wachs, Lack oder Paraffin; häufiger jedoch setzt man eine Anzahl von Eisenblechringen — das Blech besitzt eine Dicke von 0,3 bis 0,5 mm — die durch dünnes Papier voneinander getrennt sind, zu einem niederen Zylinder zusammen. In beiden Fällen erhält man den inneren Teil eines Ringankers, der in der aus Fig. 82 ersichtlichen Weise ganz mit Abteilungen von isoliertem Kupferdraht in mehreren Lagen umwickelt wird. Jedes Ende einer solchen Ab-

gestellt werden: Man wickelt einen Eisendraht in Form eines Ringes — einen massiven Eisenkern darf man wegen der in dem Eisen-

teilung ist mit dem Anfang der nächsten Abteilung metallisch verbunden und zu einem Kollektor-K-Stromsammeler — oder Kommutator-Stromwender — geführt. Dieser besteht aus einer Anzahl von Lamellen, die aus hartgezogenem Kupfer hergestellt und durch Glimmer voneinander isoliert sind; ebenso ist der Kollektor von der Achse, auf die er aufgekeilt ist, isoliert. Der Ringanker kann innerhalb des magnetischen Feldes, das durch die mit isoliertem Kupferdraht umwickelten weichen Eisenkerne F_1 und F_2 gebildet wird, herumgedreht werden. Diese Drehung erfolgt entweder durch Treibriemen von einer Dampf- oder Gasmaschine aus, oder der Anker wird direkt mit der

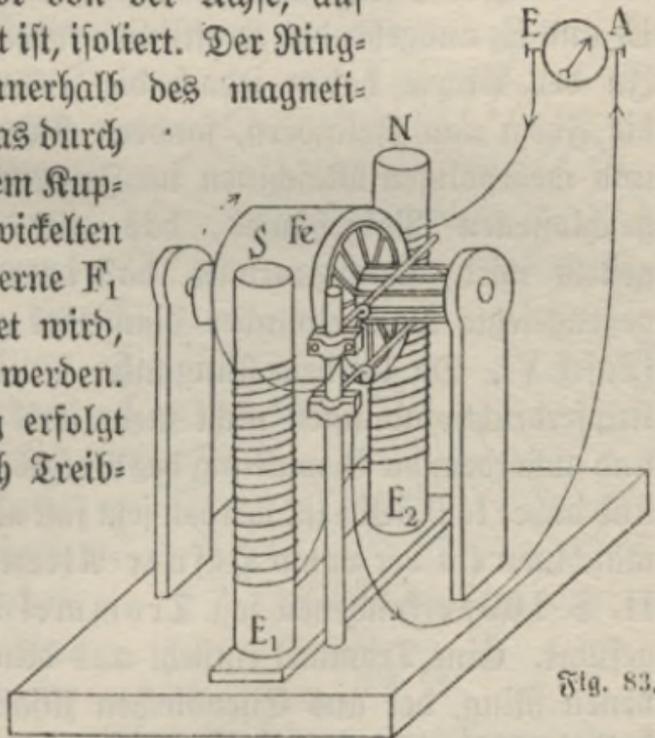


Fig. 83.

Dampfmaschine, Wasser- oder Dampfturbine gekuppelt. Durch den remanenten Magnetismus der Feldmagnete F_1 und F_2 entstehen in den Kupferdrähten des Ringankers zunächst schwache Induktionsströme, die um die Feldmagneten geleitet werden, wie aus der Fig. 82 ersichtlich ist; die Verstärkung der Induktionsströme erfolgt dann nach dem dynamoelektrischen Prinzip

(S. 147). Auf dem Kollektor schleifen Bürsten B_1 und B_2 aus Kupfer, oder bei den neueren Maschinen aus Kohlen, die den Strom abnehmen und den Feldmagneten zuführen. Das in Fig. 83 dargestellte Modell einer dynamoelektrischen Gleichstrommaschine gibt seinen Strom an ein Galvanometer AE ab; Fe ist ein Polschuh aus weichem Eisen, in dem die von den Feldmagneten E_1 und E_2 ausgehenden Kraftlinien konzentriert werden. In der Praxis haben jedoch die Feldmagneten nicht die Form von Zylindern, sondern sind bei den zwei- und mehrpoligen Maschinen im Innern eines allseitig geschlossenen Polgehäuses, das aus Gußeisen hergestellt wird, so angeordnet, daß immer je zwei entgegengesetzte Pole einander diametral gegenüberstehen (Tafel V). Da bei dem Ringanker der innere Teil der Kupferdrahtwindungen nicht mehr stark induziert wird und außerdem die Bewicklung des Ringes sehr zeitraubend und daher kostspielig ist, werden jetzt fast alle Gleichstrommaschinen mit der von v. Hefner-Alteneck (Günther II. S. 169) erfundenen sog. Trommelwicklung ausgeführt. Eine Trommel entsteht aus dem oben beschriebenen Ring, der aus Eisenblechen zusammengesetzt ist, in der Weise, daß man viele solche Bleche übereinander schiebt, wodurch man einen Zylinder von größerer Höhe erhält. Denkt man sich in Fig. 60 in eine der Nuten z. B. in 1 einen isolierten Kupferdraht gelegt, führt den Kupferdraht senkrecht zur Ebene der Figur längs des Zylindermantels bis zur anderen Grundfläche des Zylinders, biegt ihn auf der Rückseite des Zylinders um, zieht ihn parallel zu seiner vorigen Rich-

Da die Drähte ihrer ganzen Länge nach sehr nahe an den Polen der Feldmagneten vorbeibewegt werden, so ist die induzierende Wirkung eine weit stärkere als beim Ringanker; wählt man die Dimensionen des Drahtes, der Ankerwicklung und der Feldmagneten so, daß jede Windung zwei Volt liefert, so gibt die Maschine einen Strom von 130 Volt Spannung. Die Wickelung eines Trommelankers läßt sich bedeutend schneller herstellen dadurch, daß man die einzelnen Drähte auf entsprechend gebogene Schablonen wickelt, so daß man nur nötig hat, die nach den Schablonen gewickelten Drahtabteilungen in die entsprechenden Ruten der Trommel einzulegen. Tafel VI zeigt einen noch nicht fertig gewickelten Trommelanker mit Schablonen, der in das Magnetgehäuse auf Tafel V paßt. Bei mehrpoligen Maschinen sind die Pole derart angeordnet, daß immer ein Südpol mit einem darauffolgenden Nordpol abwechselt. Dies wird dadurch erreicht, daß die über die Magnetkerne geschobenen Drahtspulen in der richtigen Weise gewickelt und miteinander verbunden sind. Auf dem Kollektor schleifen dann mehrere Bürstenpaare, die so verbunden werden, daß z. B. bei einer sechspoligen Maschine je drei zusammengehörende Bürsten an einen Leitungsbügel angeschlossen sind, weshalb schließlich doch nur zwei Hauptstellen existieren, von denen der Strom abgenommen und zu den Klemmen der Maschine geführt wird.

Man unterscheidet drei Typen von Gleichstrommaschinen: 1) Die Hauptstrommaschine; 2) die Nebenschlußmaschine; 3) die Doppelschluß- oder Compoundmaschine.

Bei der Hauptstrommaschine (Fig. 85) stellen $F_1 F_2$ die Feldmagneten vor, an die Polschuhe P_1 und P_2 angelegt sind, zwischen denen der Anker A rotiert. Der in dem Anker erzeugte Strom durchfließt zunächst die Feldmagneten, hierauf die Stromverbrauchsstelle K und kehrt zum Anker zurück. Bei dieser Maschine hängt die elektromotorische Kraft ab von der Größe des äußeren Widerstandes. Wird der äußere Widerstand größer, so nimmt die Stromstärke ab; dadurch werden die

Feldmagneten schwächer und auch die elektromotorische Kraft nimmt ab. — Bei der Nebenschlußmaschine (Fig. 86) verzweigt sich der vom Anker A kommende

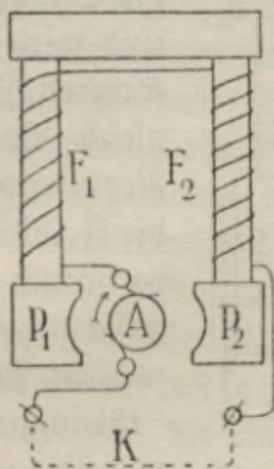


Fig. 85.

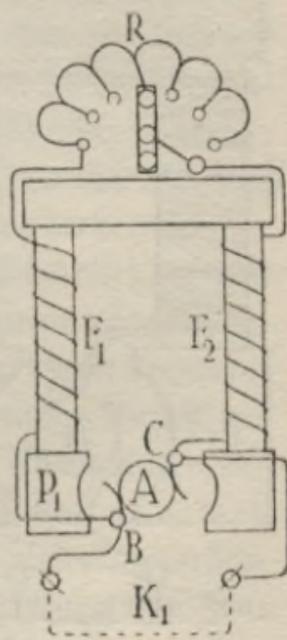


Fig. 86.

Strom bei B und

C ; ein Teil des Stromes fließt von B durch einen Regulierwiderstand R und in vielen dünnen Windungen um die Feldmagneten F_1 und F_2 und zum Anker zurück, der andere Teil durchfließt die Verbrauchsstelle K_1 . Wird der Regulierwiderstand verringert, so wird der Magnetismus der Feldmagneten verstärkt, bei Zunahme des Regulierwiderstandes nimmt die Feldstärke ab. Ist der äußere Widerstand sehr klein, so

geht der Hauptstrom durch K_1 , die Feldmagneten sind schwach erregt, deshalb ist die elektromotorische Kraft und auch die Klemmenspannung (S. 62) sowie die Stromstärke gering. Nimmt der äußere Widerstand zu, so werden die Feldmagneten stark erregt, es wird dann die elektromotorische Kraft und auch die Klemmenspannung

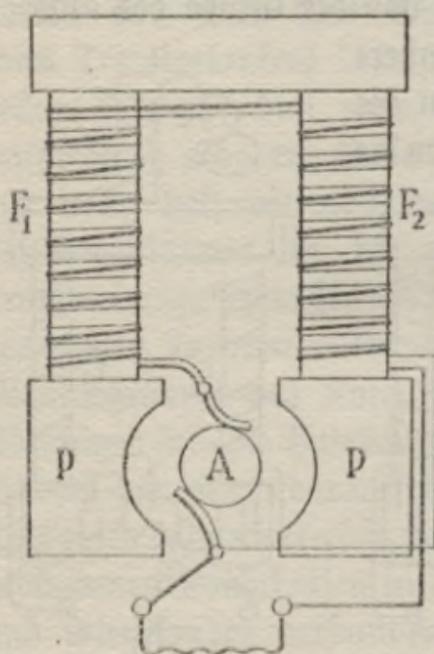


Fig. 87.

groß; aber auch die Stromstärke wird größer. Nimmt der äußere Widerstand noch mehr zu, so nimmt die Stromstärke wieder ab und wird bei sehr großem äußeren Widerstand nahezu gleich Null. Durch den Regulierwiderstand R kann die Feldstärke dem Stromverbrauch entsprechend in passender Weise verändert werden. Tafel VII zeigt eine Gleichstromnebenschlus-

maschine für 500 Volt.

Die Doppelschlus- oder Compoundmaschine (Fig. 87) besitzt zwei Wicklungen, eine Hauptstromwicklung aus dickem Draht und eine Nebenschlußwicklung aus dünnem Draht. Bei richtiger Dimensionierung dieser beiden Wicklungen erreicht man, daß die Klemmenspannung unabhängig von dem äußeren Widerstand wird; die Stromstärke wird dann bei wachsendem äußeren Widerstand geringer, bei abnehmendem äußeren Widerstand größer.

In den elektrischen Zentralen sind mehrere Maschinenaggregate aufgestellt. Wenn man nicht für besondere Zwecke, z. B. für die Straßenbeleuchtung oder den Straßenbahnbetrieb, Hauptstrommaschinen verwendet, sind fast alle Gleichstrommaschinen als Nebenschlußmaschinen gebaut. Die positiven Pole sämtlicher Maschinen sind mit einer Sammelschiene und die negativen Pole mit einer zweiten Sammelschiene verbunden, und erst von den Sammelschienen geht der Strom in das Verteilungsnetz. Es müssen daher sämtliche Maschinen gleiche elektromotorische Kraft besitzen, damit in dem Leitungsnetz immer eine konstante Spannungsdifferenz an den Stromverbrauchsstellen aufrechterhalten wird. Dies wird dadurch erreicht, daß alle Stromverbrauchsvorrichtungen parallel geschaltet werden. Im allgemeinen nimmt die elektromotorische Kraft einer Gleichstrommaschine mit der Anzahl der Windungen auf dem Induktor zu, von einem Anker, der mit 1000 Windungen versehen ist, erhält man unter sonst gleichen Umständen eine doppelt so große elektromotorische Kraft wie von einem Anker, der eine Wickelung von 500 Windungen besitzt. Mit der Tourenzahl wächst gleichfalls die elektromotorische Kraft und zwar in der Weise, daß der doppelten Tourenzahl auch die doppelte elektromotorische Kraft entspricht, wenn sich die übrigen Verhältnisse der Maschine nicht ändern. Tafel VIII zeigt eine durch eine Dampfturbine angetriebene Gleichstrommaschine oder einen sog. Gleichstrom-Turbo-Generator in der Kabelwerkzentrale am Nonnendamm in Berlin. Die Maschine ist für 560 Umdrehungen in der Minute, 265 Pferdestärken und 500 Volt gebaut.

2. Die Wechselstrommaschinen.

Bei den Wechselstrommaschinen kommen hauptsächlich zwei Typen in Betracht: 1) Die Einphasenstrommaschinen und 2) die Drehstrommaschinen.

Denkt man sich in Tafel IX erstes Modell statt des einen Magneten eine ganze Reihe kreisförmig angeordneter Magnetpole, ein sogenanntes Polrad, das innerhalb des Ringes rotiert, so werden die erzeugten Wechselströme viel rascher aufeinanderfolgen. Ersetzt man die einzige Drahtwindung durch eine Reihe von isolierten Drahtspulen, die entsprechend miteinander verbunden sind, so wird die Wirkung noch viel stärker, besonders wenn man statt der permanenten Magneten Elektromagnete benutzt, die durch

eine Gleichstrommaschine erregt werden. In Fig. 88 stellt der äußerste Kreis das Gehäuse einer Wechselstrommaschine dar, die beiden inneren konzentrischen Kreise einen aus Eisenblechen zusammengesetzten Ring, auf den die mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Spulen a, b, c, d ... aufgesetzt sind. Im Innern dreht sich das Polrad mit den Polen N, S, N, S ... und zwar abwechselnd ein Nord- und ein Südpol vor den Spulen, die so aufgesetzt sind, daß der Anfangsdraht einer Spule sich

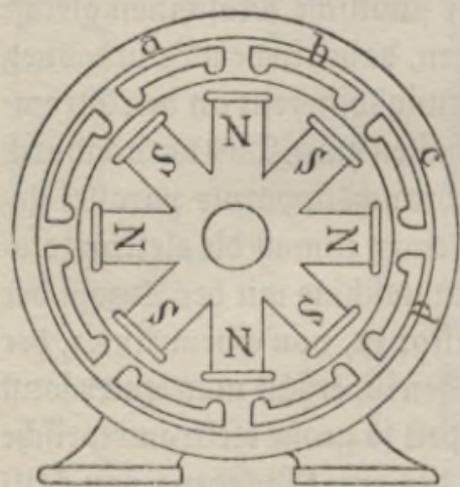


Fig. 88.

eine Gleichstrommaschine erregt werden. In Fig. 88 stellt der äußerste Kreis das Gehäuse einer Wechselstrommaschine dar, die beiden inneren konzentrischen Kreise einen aus Eisenblechen zusammengesetzten Ring, auf den die mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Spulen a, b, c, d ... aufgesetzt sind. Im Innern dreht sich das Polrad mit den Polen N, S, N, S ... und zwar abwechselnd ein Nord- und ein Südpol vor den Spulen, die so aufgesetzt sind, daß der Anfangsdraht einer Spule sich

z. B. über einem Nordpol und das Ende des Spulendrahtes sich über dem nächsten Südpol befindet. Außerdem sind die Spulen so miteinander verbunden, daß sich die in ihnen entstehenden Induktionsströme sämtlich addieren. Die freien Enden der ersten und letzten Spule sind mit je einer Klemme verbunden, von denen der Wechselstrom zu den Sammelschienen geführt wird. Die einfachste Wechselstrommaschine könnte dadurch hergestellt werden, daß man das erdmagnetische Feld (S. 43) benutzt, um Wechselstrom zu erzeugen. Wenn man jedoch bedenkt, daß eine Spule von 1000 Windungen einen Durchmesser von 1 m besitzen und 8000mal in der Minute um eine horizontale Achse, die rechtwinklig zum magnetischen Meridian (Elektrizität I. S. 109) steht, herumgedreht werden muß, damit man einen Strom erzielt, mit dem eine Glühlampe von 100 Volt gespeist werden kann, so wird man von der Ausichtslosigkeit dieses Unternehmens überzeugt sein.

Die Wechselstrommaschinen geben, ebenso wie die Gleichstrommaschinen, ihren Strom zunächst an Sammelschienen ab, doch ist die Parallelschaltung der Wechselstrommaschinen nicht so einfach wie die der Gleichstrommaschinen. Zuerst müssen die Wechselstrommaschinen auf die gleiche Tourenzahl gebracht werden, was man vom Schaltbrett aus durch Einschaltung eines die Wärmekraftmaschine oder Wasserturbine regulierenden Elektromotors erreicht, der die Tourenzahl auf die richtige Größe bringt. Außerdem müssen die Wechselströme auf gleiche Phase gebracht werden. Daß die Wechselströme gleiche Phasen besitzen, erkennt man an dem

Nichtaufleuchten der sogenannten Phasenlampen. Oder man schaltet ein Voltmeter zwischen die beiden Wechselstrommaschinen; zeigt das Voltmeter keinen Ausschlag an, so ist Phasengleichheit vorhanden. In diesem Moment wird die Maschine durch einen Einschalthebel auf die Sammelschienen geschaltet. Die Wechselstrommaschinen müssen auch gleiche Spannung besitzen, was man an den Voltmetern erkennt, die an jeder Maschine angebracht sind.

Die Drehstrommaschine ist im Prinzip schon S. 125 beschrieben worden und auf den Tafeln X, XI und XII

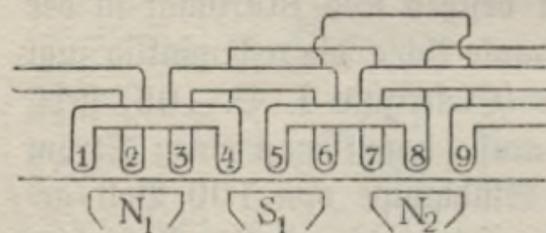


Fig. 89.

abgebildet. Für die Praxis müssen aber, um größere Leistungen zu erzielen, sowohl die Anzahl der Magnetpole als auch die Anzahl der Induktions-

spulen vermehrt werden; außerdem müssen die Magnetpole stärkere Wirkungen aufweisen und die Induktionsspulen mit vielen Drahtwindungen versehen sein. In Fig. 89 stellen N_1 , S_1 , N_2 drei unmittelbar aufeinanderfolgende Magnetpole des Polrades dar, das sich vor den Induktionsspulen (1;4), (3;6), (5;8) usw. drehen kann. Spule (1;4) ist mit Spule (7;10), Spule (3;6) mit Spule (9;12) und Spule (5;8) mit Spule (11;14) in Serie geschaltet usw. Ist das Polrad so weit gedreht worden, daß sich der Nordpol N_1 an der Stelle des Nordpols N_2 befindet, so entspricht dies einer ganzen Umdrehung des Magneten NS auf Tafel X, weil sich

bei dieser Bewegung der Nordpol N_1 ebenso vor sechs Spulenden vorbeibewegt hat. Es werden daher in den Spulen (1; 4), (3; 6), (5; 8) Wechselströme erzeugt, die sich um ein Drittel der Periode voneinander unterscheiden, ebenso wie die Wechselströme, die mit dem auf Tafel XI abgebildeten Modell erzeugt werden. Durch die Hintereinanderschaltung der Spulen (1; 4), (7; 10) usw. werden die einzelnen Ströme von gleicher Phase addiert; jeder der drei summierten Ströme wird zu einer Klemme, die an dem Außengestell der Drehstrommaschine angebracht ist, und von dieser durch Leitungsdrähte den Sammelschienen zugeführt. Das Polrad oder der Rotor einer Drehstrommaschine besitzt 40, 60, 72, kurz eine große Anzahl von Magnetpolen, die sich innerhalb des entsprechend gewickelten Stators drehen, wodurch man, ohne daß die Maschinen allzu schnell laufen müssen, Drehstrom bis zu 10 000 Volt Spannung erhält. Die Spannung sowohl einer Gleichstrommaschine als auch einer Wechselstrom- oder Drehstrommaschine kann mit dem Elektroskop (Elektrizität I. S. 23) gemessen werden. Da ein solches Elektroskop jedoch nicht empfindlich genug ist, um kleine Spannungszu- oder -Abnahmen erkennen zu lassen, verwendet man Apparate, die entweder nach dem Prinzip des Quadrantenelektrometers oder nach dem Drehspulenprinzip konstruiert sind. Die Stromstärke wird mit Ampèremetern gemessen. Um den Effekt zu messen, werden sogenannte Wattmeter eingeschaltet. Bei diesen kann sich eine bewegliche Spule innerhalb einer festen Spule, die beide von dem nämlichen Strom durchflossen sind,

drehen. Die Größe der Drehung ist ein Maß für die Anzahl der Watt. Alle diese Meßapparate sind an einer Schalttafel befestigt, an die auch die Sammelschienen angeschlossen sind.

Auf Tafel IV sind die Maschinen eines Elektrizitätswerks abgebildet. Man erkennt vier stehende Dampfmaschinen, deren Schwungräder als Polräder ausgebildet sind, die direkt auf der Achse der Dampfmaschine sitzen. Die vorderste Maschine zeigt auf ihrer rechten Seite eine Gleichstrommaschine, die zum Betrieb einer elektrischen Straßenbahn und zum Laden einer Akkumulatorenbatterie dient; auf der linken Seite der vordersten Maschine ist eine Drehstrommaschine angebaut. Die zweite Maschine ist eine Gleichstrommaschine und dient als Reserve für den Betrieb der elektrischen Straßenbahn und zum Laden der Akkumulatorenbatterie. Die beiden hintersten Maschinen stellen Drehstrommaschinen vor, von denen jede 3000 Volt Spannung liefert. Man sieht auf der rechten Seite einer jeden dieser Maschinen die Erregermaschinen, durch die Gleichstrom erzeugt wird, der zur Magnetisierung des Polrades dient; die Drehstromwicklung ist auf der Innenseite des Stators angebracht.

Von den Sammelschienen aus wird eine Stadt mit Elektrizität versorgt, und zwar muß an allen Stromverbrauchsstellen die gleiche Spannung aufrechterhalten werden. Liefert das Elektrizitätswerk Gleichstrom von 110 Volt Spannung und wird der Radius des Kreises, der mit Strom versorgt werden soll, größer als 800 m, so müssen sehr dicke Kupferdrähte verwendet werden,

damit durch den Leitungswiderstand die Spannung nicht zu sehr sinkt und sich die Leitungsdrähte nicht zu sehr erwärmen. Diese dicken Leitungsdrähte verteuern aber das Anlagekapital ganz erheblich.

Ein Leitungssystem, das aus zwei an die Sammelschienen angeschlossenen Leitungsdrähten besteht, heißt Zweileitersystem. Schaltet man zwei Gleichstrommaschinen von je 110 Volt Spannung hintereinander und führt man von jedem freien Pol und von einem Punkt des Verbindungsdrahtes der beiden Maschinen einen Leitungsdraht, also im ganzen drei Leitungsdrähte in die Stadt, so herrscht zwischen den beiden äußersten Drähten ein Spannungsunterschied von 220 Volt und zwischen jedem äußeren und dem mittleren Draht ein solcher von 110 Volt. Bei diesem Leitungssystem — es wird das Dreileitersystem genannt — erhält man einen Wirkungskreis von 1200 m Radius, in dem die Verwendung von Gleichstrom noch ökonomisch ist. Wird der Aktionsradius größer, so müssen mehrere Zentralstationen gebaut werden oder man verwendet Wechselstrom und Drehstrom.

Auch mit einer einzigen Maschine, die eine Spannungsdifferenz von 220 Volt liefert, kann das Dreileitersystem auf verschiedene Arten durchgeführt werden. Man ladet mit der Maschine eine Akkumulatorenbatterie von 110 Zellen und führt von jedem Pole und von der Mitte der Batterie einen Draht zu den Verbrauchsstellen. In dem Draht, der von der Mitte der Batterie ausgeht, herrscht die Spannung Null (Null-Leiter); zwischen den von den Polen aus-

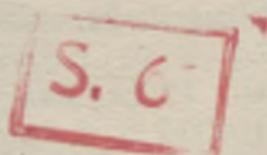
gehenden Drähten besteht eine Spannung von 220 Volt und zwischen einem von einem Pol und der Mitte ausgehenden Draht eine Spannung von 110 Volt.

Eine andere Art, das Dreileitersystem durchzuführen, wird mit dem sogenannten Spannungsteiler ermöglicht. Man führt jede von zwei um 180° voneinander entfernte Lamellen des Kommutators einer Gleichstrommaschine zu je einem isoliert auf der Achse befestigten Schleifring und schaltet zwischen die Schleifringe, von denen der Strom durch Bürsten abgenommen wird, eine Drosselspule ein (S. 82). Von den beiden Schleifringen kann einphasiger Wechselstrom abgenommen werden (S. 120), dessen Stärke wegen der hohen Selbstinduktion der Drosselspule fast gar keine Änderung erleidet. In der Mitte des Drahtes auf der Drosselspule herrscht eine Spannung, die in der Mitte der Spannungen an den Enden der Drosselspule liegt, also die Spannung Null. Von dieser Mitte aus wird der Null-Leiter, und von den beiden Bürsten des Kollektors werden die beiden äußeren Drähte geführt, zwischen denen eine Spannungsdifferenz von 220 Volt besteht, während zwischen dem Null-Leiter und jedem Außenleiter die Spannungsdifferenz 110 Volt beträgt.

In neuerer Zeit wird der Drehstrom statt auf drei Leitungsdrähten auch auf vier Leitungsdrähten dem Stromverteilungsgebiet zugeführt, der vierte Draht heißt Außenleiter und ist entweder geerdet, d. h. mit der Erde leitend verbunden, oder er endet frei. Bei dieser Anordnung sinkt die Spannung zwischen dem Außenleiter und einem der drei anderen Drähte des Leitungsnetzes

auf 220 Volt, wenn die Spannungsdifferenz zwischen je zwei nicht geerdeten Leitungsdrähten 380 Volt beträgt. Es lassen sich bei diesem Leitungssystem, das Vierleiter-system genannt wird, hochvoltige Glühlampen verwenden; auch kann man sechs Bogenlampen in Serie schalten, so daß diese immer gleichzeitig in Betrieb sind. Der Hauptvorteil dieser Anordnung liegt darin, daß Motoren, die für größere Leistungen gebaut sind, mit einer höheren Spannung leichter anlaufen.

In Städten von größerer Ausdehnung sind die verschiedenen Systeme in der Weise kombiniert, daß einzelne Stadtteile mit Drehstrom und andere mit Gleichstrom versorgt werden.



Register zu Adami, Elektrizität I und II.

- Absolute Krasteinheit I. 32.
 Absoluter Nullpunkt II. 54.
 Absolutes Maßsystem I. 32. 86.
 II. 49 ff.
 Agone I. 117.
 Akkumulator II. 24 f. 60. 72. 127.
 Akkumulatorenraum I. 48.
 Aluminium II. 7 ff. 14. 28.
 Aluminiumstreifen I. 13. 19 ff.
 II. 9 ff.
 Papier II. 9.
 Draht II. 46.
 Ampère II. 27. 41. 48. 50 ff. 81.
 Ampèremeter II. 58. 62. 65 f.
 Ampères Theorie des Magnetismus II. 41.
 Ampèresche Regel II. 27 f. 31.
 Anker I. 115 f. II. 144.
 Anode II. 21 f. 87. 89.
 Anregender Schwingungskreis II. 93.
 Anrufapparat II. 146.
 Ansammler II. 24.
 Ansammlungsapparat I. 74.
 Anschluß I. 118.
 Antimon II. 7. 24. 70 f.
 Apatit I. 107.
 Äquator, geographischer I. 120.
 magnetischer I. 120.
 Arago II. 113.
 Arbeitseinheit I. 34.
 Arbeitsvorrat I. 23. 89 f.
 Armatur II. 146.
 Astatisches System I. 118.
 Astronomischer Meridian I. 109.
 Asynchron II. 126.
 Atmosphärische Elektrizität I. 94 ff.
 Ätznatron II. 19. 56.
 Auerbach, Felix I. 126.
 Auge, elektrisches II. 100.
 Augenheilkunde II. 34.
 Augit I. 107.
 Außenleiter II. 164.
 Äußerer Widerstand II. 56.
 Automatischer Telephonbetrieb II. 146.
 Autotypie II. 21.
 Ballistisches Galvanometer II. 32.
 Basalt I. 107.
 Batterie, elektrische I. 83. II. 20.
 galvanische II. 10.
 Bauer, Max I. 106.
 Bernstein I. 18. II. 12.
 Eigentümlichkeiten I. 20 f.
 Berührungselektrizität II. 5 ff.
 Bewegung der Elektrizität I. 42.
 Bifilare Wickelung II. 82.
 Biotit I. 107.
 Blattelektroskop I. 24 f. 44.
 46 ff. 87. 100. II. 5. 8.

- Blei II. 7. 22 f. 71.
 Bleiglanz II. 7.
 Bleiplatten II. 22. 24 f.
 Bleisulfat II. 22 f.
 Bleisuperoxyd II. 7. 9. 22 ff.
 Blitz I. 96 ff. II. 52.
 Flächenblitz I. 97.
 Kugelblitz I. 93. 97.
 Linienblitz I. 97.
 Wirkungen des I. 96 f.
 Blitz, Zickzackblitz I. 97.
 Blitzableiter I. 98 f.
 Hörnerblitzableiter I. 100.
 Wirkung des Blitzableiters
 I. 100 f.
 Blumendraht II. 118.
 Bogenlampe I. 99. II. 33.
 Bolometer II. 69.
 Bossesches Observatorium I. 98.
 Branly II. 100.
 Braunsche Röhre II. 140.
 Tafel III.
 Bugge I. 72. II. 7. 11. 14. 24 ff.
 73. 140.
 Bunjen II. 19.
 Bunsensches Element II. 24. 49.
 Burgstall I. 106.
 Chemische Wirkung des elektri-
 schen Stromes II. 20.
 Chlorit I. 104. 107. Taf. III
 Chrom I. 115. II. 7.
 Chromsäure II. 28 f.
 Chromsäureelement II. 28. 49.
 Schwolson I. 10. II. 14.
 Columbus I. 117.
 Coulomb I. 34 f. II. 50 ff.
 Coulombsches Gesetz I. 36.
 Cunäus I. 78.
 Dampfturbine II. 151. 157.
 Daniell II. 50.
 Daniellsches Element II. 19. 24.
 49 f. 60.
 Davis I. 120.
 Deklination, magnetische I. 116.
 Deklinationssnabel I. 116.
 II. 27 ff. 70 f. 112.
 Deprez=d'Arsonval II. 45 f.
 Diamagnetisch I. 124.
 Dielektrikum I. 94.
 Dielektrische Körper I. 27.
 Dielektrizitätskonstante I. 74.
 Disruptive Entladung I. 67.
 Divisch I. 98.
 Donner I. 96.
 Doppelschlußmaschine II. 154.
 156.
 Doppel=T=Anker II. 146.
 Draht II. 104.
 Drähte, Lecher'sche II. 103.
 Drehfeld II. 126.
 Drehspulengalvanometer II. 46.
 Drehstrom II. 126.
 Drehstrom, Entstehung des
 II. 122 ff. Taf. X—XII.
 Drehstrommaschinen II. 158 ff.
 Dreieckschaltung II. 122 ff.
 Dreileitersystem II. 163.
 Drosselspule II. 82. 164.
 Dyn I. 32. II. 49.
 Dynamische Elektrizität II. 52.
 Dynamoelektrisches Prinzip
 II. 147.

- Dynamomaschine II. 127. 143.
 147 f.
 Herstellung einer II. 150.
- E**delstein II. 45.
- Edison II. 25.
- Edisonakkumulator II. 25
- Effekt II. 51. 88. 136. 161.
- Effekt eines Wechselstromes
 II. 136 ff.
- Eigenschaften der Wechselströme
 II. 127 ff.
- Einheit der Stromstärke II. 48 f.
- Einheit des Effekts II. 51.
- Einheit des Potentials I. 34.
- Einheit, elektrostatische I. 32.
 34. II. 50.
- elektrotechnische I. 34.
- Einphasenstrom II. 120 f.
- Einphasenstrommaschine II.
 158 ff. Taf. IX.
- Einzelnichlag II. 89.
- Eisenerperiment I. 50. 93.
- Eisen I. 103 ff. 124. II. 7 f. 14. 71.
- Eisen, Passivität des II. 14.
- Eisenblech I. 121. II. 25.
- Eisendraht II. 104.
- Eisenglanz I. 108.
- Eisenkies II. 7.
- Eisenoxyd II. 25.
- Eisenoxydul I. 106.
- Eisenpulver I. 106. II. 27.
- Eisensilikat I. 106.
- Elektrischer Kongreß II. 50.
- Elektrische Fundamentalversuche
 I. 11 ff.
- Elektrische Influenz I. 36 ff. II. 9.
- Elektrische Ringe II. 36. 101.
- Elektrische Kraftlinien I. 93.
 II. 27. 77 f.
- Elektrische Kraftübertragung I.
 71.
- Elektrische Maschinen II. 143 ff.
- Elektrische Maßeinheiten II. 47 ff.
- Elektrische Meßapparate II. 41.
- Elektrische Scheidungskraft II. 5.
- Elektrische Schwingungen II. 90.
- Elektrische Spannung I. 24. 52.
- Elektrische Taschenlampe I. 5.
 II. 20. 25.
- Elektrische Telegraphie II. 25. 36.
- Telephonie II. 25.
- Elektrische Wellen II. 101.
- Elektrischer Funken I. 53. 70 f.
 II. 18. 31. 76. 84. 89.
- Elektrischer Rückschlag I. 43. 98.
- Elektrischer Strahl II. 102.
- Elektrischer Strom I. 42. 69 f.
 II. 15. 18. 20. 23. 27. 29.
 39. 49.
- Elektrischer Vorhang I. 31.
- Elektrischer Wind I. 54.
- Elektrisches Auge II. 100.
- Elektrisches Feld I. 89 ff.
- Elektrisches Läutwerk II. 147.
- Elektrisches Netz I. 28.
- Elektrisches Pendel I. 14.
- Elektrisches Potential I. 90.
- Elektrifiziermaschine I. 57.
- Elektrizität, atmosphärische I.
 94. ff.
- Bewegung der I. 42.
 dynamische II. 52.
 Geschwindigkeit der I. 88.

- Elektrizität, negative I. 17.
 II. 5 ff.
 positive I. 17. 42. II. 5 ff.
 statische II. 52.
 Elektrizitätsmenge I. 23. 33 f.
 II. 12. 47. 50. 64.
 Elektrizitätsträger I. 57.
 Elektrizitätswerk II. 12. 87. 162.
 Taf. IV.
 Elektroden II. 10. 56.
 Elektrodynamische Wirkungen
 II. 36.
 Elektroinduktion II. 73. 110.
 Elektrolyse II. 20 f. 56.
 Elektrolytischer Unterbrecher II.
 86.
 Elektrolytische Wirkung II. 26.
 Elektromagnet II. 33 ff.
 Elektromagnetische Maschinen II.
 143.
 Elektromagnetismus II. 33. 36.
 Elektromotoren II. 145.
 Elektromotorische Kraft II. 5.
 25. 47. 50. 80.
 Elektronen I. 53.
 Elektrophor I. 51. 57. II. 31.
 Elektrostop I. 24. 27. II. 5. 8.
 161.
 Elektrostatische Einheit I. 32.
 34. II. 50.
 Elektrotechnische Einheit I. 34.
 Element, galvanisches II. 10.
 16 f. 25.
 Energie I. 12. II. 84. 90.
 potentielle I. 23. 89 f.
 Entladung I. 67. 80. 84 f. II. 25.
 76.
 Entstehung des Drehstromes II.
 122 ff. Taf. X—XII.
 des Gleichstromes II. 115 ff.
 des Wechselstromes II. 119 ff.
 Erdboden II. 32.
 Erg I. 34. II. 51.
 Erregermaschinen II. 162.
 Erregung der Elektrizität durch
 Wärme und Druck II. 70.
 Erscheinungen, pyroelektrische
 II. 73.
 Explosionsmotor II. 146.
 Extraströme II. 79. 135.
 Farad I. 34.
 Faraday I. 50. 124 f.
 Faradaysche Scheibe II. 114.
 Feddersen I. 86. II. 91.
 Feld, elektrisches I. 89 ff.
 magnetisches I. 122 ff. II. 145.
 Feldmagneten II. 146. 149. 155.
 Feldstärke I. 124.
 Ferrum limatum I. 106.
 Feuchtigkeit II. 7 ff. 25. 27.
 Figuren, Lichtenbergsche I. 71
 Filtrierpapier II. 13. 26.
 Flächenblitz I. 97.
 Flachse I. 18.
 Förbau I. 106.
 Formieren II. 24.
 Franklin I. 96. 98.
 Franklinische Tafel I. 78.
 Frequenz eines Wechselstromes
 II. 143.
 Frequenzmesser II. 143.
 Fritter II. 100.
 Fuchsschwanz I. 20 ff. 55. 72.

- Fundamentalversuche, elektrische
 I. 11 ff. II. 5 ff.
 Funken, elektrischer I. 53. 70 f.
 II. 18. 31. 76. 84. 89.
 Funkeninduktor II. 96. 115. 130.
 Funkenlänge I. 54. II. 85.
 Funkenstrecke II. 96. 98.
 Funkenstrom I. 68. II. 85.
 Galvanische Batterie II. 10.
 Galvanisches Element II. 10.
 16 f. 25. 28. 32. 37.
 Galvanisch gekoppelt II. 94.
 Galvanismus II. 5.
 Galvanometer II. 23. 45 f. 73.
 ballistisches II. 32.
 Sigdraht II. 20.
 nach Deprez=d'Arsonval
 II. 45 f.
 Projektions= II. 30 f. 45. 65.
 69. 84. Taf. II.
 Galvanoplastik II. 20 f.
 Galvanos II. 21.
 Gasflamme I. 50.
 Gaskohle II. 53.
 Gasmaschine II. 151.
 Gauß I. 32. 124.
 Gegenelektromotorische Kraft
 II. 49.
 Geigel II. 12. 51. 52. 54. 102.
 146.
 Geißlersche Röhren I. 72. 86.
 II. 104.
 Gekreuzte Ströme II. 38.
 Generator II. 125.
 Geographischer Äquator I. 120.
 Geographischer Meridian I. 109.
- Geschwindigkeit der Elektrizität
 I. 86.
 Gewitter II. 52.
 Gewitterwolken I. 95.
 Gipsabguß II. 21.
 Glas I. 18. 70. II. 10. 18. 19.
 Glaselektrizität I. 16.
 Glaselektrophor I. 56 f.
 Glasplatte I. 56 ff. 60. II. 113.
 Glasrohr II. 28 f.
 Glasstab II. 30 f. 36.
 Glasstange I. 13.
 Glassturz I. 27.
 Glaswolle II. 25.
 Gleichstrom II. 12. 38. 114. 116.
 Entstehung des II. 115 f.
 intermittierender II. 117.
 Gleichstrommaschine II. 148 ff.
 Gleichstromnebenschlußmaschine
 II. 156. Taf. VII.
 Gleichstrom=Turbo=Generator
 II. 157. Taf. VIII.
 Glimmer I. 18. II. 84. 151.
 Glühbirne II. 20.
 Glühen von Drähten I. 85.
 Glühlampe II. 54. 72. 96. 159.
 Gold II. 7 ff. 21. 71.
 Granit I. 107.
 Graphit II. 21.
 Grabieren II. 22.
 Gray I. 37.
 Grunderscheinungen, magne-
 tische I. 103 ff.
 Günther II. 5. 8. 9. 11. 20.
 25. 27. 34. 45 ff. 48. 50 f.
 60. 63. 69. 73. 76. 83. 99 f.
 144. 152. 168.

- Galleyscher Komet I. 119.
 Hammerunterbrecher II. 86.
 Hankel II. 73.
 Hannover II. 24.
 Harz I. 18.
 Hauptstrom II. 49. 74 ff. 129.
 Hauptstrommaschine II. 154 f.
 157.
 v. Hefner Alteneß II. 152.
 Hegel I. 9.
 Heilkunde II. 145.
 Helium II. 104.
 Henry II. 81.
 Herstellung einer Dynamom-
 aschine II. 150.
 Herz II. 99.
 Hilfsseinsauger I. 61.
 Hintereinanderschaltung II. 10.
 Hydrazhtgalvanometer II. 20.
 Holz I. 59 ff. 72.
 Holz I. 18. 70.
 Holzschmitt II. 21.
 Hornblende I. 107.
 Hörnerblitzableiter I. 100.
 Hufeisenmagnet I. 115 ff. 124.
 II. 44 f. 107.
 Hysteresis II. 127.

 Jacobi, v. II. 20. 144.
 Indifferenzzone I. 62.
 Induktanz II. 81.
 Induktion I. 98. II. 115 ff.
 Induktionsapparat I. 11. II. 70.
 78.
 Induktionserrscheinungen II. 73.
 Induktionsfreie Wicklung II.
 82.
 Induktionsöffnungsstrom II. 75.
 78. 83. 130.
 Induktionsschließungsstrom II.
 74. 78. 83.
 Induktionspule II. 75. 137.
 Induktiv gekoppelt II. 94.
 Influenz, elektrische I. 36 ff.
 II. 9.
 bei Isolatoren I. 49.
 bei Spitzen I. 48.
 magnetische I. 111.
 Influenzmaschine I. 59 ff. Taf. II.
 II. 85. 140. Taf. III.
 selbsterregende I. 64 ff. Taf. II.
 Inklination, magnetische I. 119 f.
 II. 28.
 Inklinationsnadel I. 119. II. 28.
 Innerer Widerstand II. 55. 59. 62.
 Intermittierender Gleichstrom
 II. 117.
 Jodkalilösung II. 26.
 Ionen I. 50. 54.
 Joulesche Wärme II. 51
 Jkogenen I. 116.
 Jsklinien I. 120.
 Jsolatoren I. 18. 49.
 Jsolierband II. 114.

 Kalilauge II. 25.
 Kapazität I. 33. 74 f.
 Kapazitätsmessung I. 86 f.
 Kartoffel II. 32.
 Kathode II. 21. 87. 89.
 Kathodenstrahlen II. 140.
 Kautschuk I. 21.
 Stab I. 11. 13. 25. II. 30 f
 Stange I. 12. 15.

- Hautschufelektrizität I. 16.
 Hautschufelektrophor I. 51.
 Kerzenflamme I. 50. II. 32.
 Kieselsäure I. 106.
 Kilowatt II. 51.
 Kirchhoff, Gustav II. 63.
 Kirchhoffsche Gesetze II. 63.
 Klavier II. 92.
 Kleist I. 78.
 Klemmenspannung II. 62. 150.
 156.
 Knallgas II. 50. 52.
 Knallgasvoltameter II. 58.
 Kobalt I. 108. 124. II. 7.
 Kochsalz II. 26.
 Koerzitivkraft I. 114. II. 127.
 Kohärer II. 100. 101. 103.
 Kohle II. 7. 14. 28 f. 33.
 Kohlenstift II. 28.
 Kotonfaden I. 15. 104 f. 117.
 II. 11. 29 f. 39 f. 43 f. 46.
 Kollektor II. 149. 151.
 Kollektorplatte I. 74.
 Komet Halleyscher I. 119.
 Kommutator II. 151.
 Kompaß I. 110.
 Kreiseldkompaß I. 118.
 Schiffskompaß I. 118.
 Compoundmaschine II. 154. 156.
 Kondensator I. 74. 87. II. 82.
 138 f.
 Kondensatorplatte I. 74.
 Kondensatorwirkung II. 13.
 Konduktor I. 58 ff.
 Konstantan II. 53.
 Konstante Elemente II. 19.
 Kork II. 18. 28.
 Krafteinheit I. 32.
 Kraft, elektromotorische II. 5. 17.
 25. 47. 50.
 Kraftlinien I. 92 ff. II. 27. 106.
 128.
 elektrische I. 93. II. 27. 77 f.
 magnetische I. 123. II. 106 ff.
 Kraftübertragung, elektrische I.
 71.
 Kreiseldkompaß I. 118.
 Kriegsschiffskompaß I. 118.
 Kristalle II. 73.
 Kugelblitz I. 97.
 Künstliche Magnete I. 104.
 Kupfer II. 6 ff. 14. 21. 52 f.
 Kupferdraht II. 13. 18 f. 26 ff.
 32. 38 f. 45. 105.
 Kupferoxyd II. 19.
 Kupferplatte II. 6 ff. 8. 34. 42.
 Kupferstreifen II. 13.
 Kupfervitriollösung II. 19 f.
 Kupfervoltameter II. 58.
 Kupferzylinder II. 19 ff.
 Kupronelement II. 19.
 Kurzschluß II. 68.
 Kurzschlußanker II. 127.
 Lack II. 22.
 Ladungsdichte I. 30.
 Latmuspapier II. 26.
 Lamellenmagnet I. 116.
 Lametta I. 14. 18. 41. II. 36 f.
 44 ff.
 Langley II. 69.
 Lantibude II. 147.
 Lantwerk, elektrisches II. 102
 146.

- Lava I. 107.
 Lebedew II. 92.
 Le Chatelier = Braun II. 76.
 77. 80. 112. 113.
 Lechersche Drähte II. 103.
 Leder I. 12 f.
 Leidener Flasche I. 78.
 Leiter der Elektrizität I. 18.
 Leiter erster Klasse II. 7.
 Leiter zweiter Klasse II. 7.
 Leitungsbügel II. 154.
 Leitungsfähigkeit, spezifische II.
 53.
 Lenz II. 76.
 Leuchtbackerrien II. 102.
 Leuchtgas I. 70.
 Leuchtkäfer II. 102.
 Lichtenberg I. 26.
 Lichtenbergische Figuren I. 71.
 Lichtfleck II. 30 f. 45.
 Lichtwellen II. 101 f.
 Lind I. 106.
 Linienblitz I. 97.
 Lochunterbrecher II. 87.
 Luft I. 18. 96. II. 15. 18.
 Luftelektrizität I. 95.
 Luftschiff I. 118.

 Mach I. 69.
 Magnalium II. 7. 11. 36 f.
 Magnesia I. 106.
 Magnesium II. 7. 56.
 Magnet II. 33. 41 f.
 Gusseisen I. 115 f. 124. II. 44 ff.
 107.
 künstlicher I. 104.
 Lamellen I. 116.
 Magnet, Molekular I. 113.
 natürlicher I. 104.
 permanenter I. 112.
 Pole, eines I. 104.
 Tragkraft, eines I. 112. 116.
 Magneteisenstein I. 103. 107.
 Taf. III u. IV.
 Magnetelektrische Maschinen
 II. 143 f.
 Magnetisch I. 105.
 Magnetische Deklination I. 116.
 Magnetische Influenz I. 111.
 Magnetische Inklination I. 119.
 Magnetischer Äquator I. 120.
 Magnetischer Meridian I. 109
 II. 42. 159.
 Magnetisches Feld I. 122 ff.
 II. 145.
 Magnetisches Moment I. 123.
 Magnetisches Potential I. 122.
 Magnetisierung von Eisen I. 97.
 II. 34.
 Magnetismusmenge I. 122 f.
 Magnetismus, natürlicher
 I. 104.
 permanenter I. 112.
 polarer I. 107.
 remanenter I. 122. II. 147.
 Magnetkies I. 108.
 Magnetkompaß I. 118.
 Magnetnadel I. 105. 107. II.
 27 f. 30. 43. 50.
 Magnetinduktion II. 104.
 Magnetinduktionsfundamen=
 talversuch II. 104.
 Magnetpol I. 104. II. 44 f.
 Magnetstab I. 112. II. 44.

- Mangan I. 115. II. 7.
 Manganin II. 55.
 Maschinen, Dynamo II. 127.
 Dynamoelektrische II. 148.
 elektrische II. 143 ff.
 elektromagnetische II. 143.
 magnetelektrische II. 143.
 Masson II. 76.
 Maßeinheiten, elektrische II. 47 ff.
 Maßflasche, elektrische I. 81.
 Maßsystem, absolutes I. 32.
 86. II. 49 ff.
 Maximum der Stromstärke
 II. 69.
 Maxwell'sche Regel II. 109.
 Megohm II. 48.
 Melville I. 120.
 Menge des Magnetismus I.
 122 f.
 Mennige II. 24.
 Meridian, astronomischer I. 109.
 geographischer I. 109.
 magnetischer I. 109. II. 159.
 Messingplatte II. 34.
 Meßapparat II. 41.
 Instrumente II. 11.
 Meßschleife II. 141.
 Metall I. 18. 93. II. 5 ff.
 Metallfaden II. 20.
 Platten II. 22. 35.
 Inkrustation II. 22.
 Mie II. 80.
 Mikroculomb I. 35.
 Nitrofarad I. 35.
 Milliampere II. 48. 65.
 Milliamperemeter II. 59.
 Millivolt II. 50.
 Mittlere Spannung II. 131.
 Mittlere Stromstärke II. 131.
 Molekularmagneten I. 113 f.
 Molekularströme II. 41 f.
 Moleküle II. 42.
 Montblanc I. 98.
 Moore Licht II. 98.
 Morse Apparat II. 101.
 Motor II. 127.
 Motor von Page II. 46.
 Nadel II. 11 f.
 Natriumjalz II. 26.
 Natronlauge II. 14.
 Natürliche Magnete I. 104.
 Nebenschluß II. 65.
 Nebenschlußmaschine II. 154 f.
 Neeff'scher Hammer II. 34 ff.
 78. 83.
 Negative Elektrizität I. 17.
 II. 6. 13.
 Negative Elektronen I. 53.
 Neonlicht II. 98.
 Kernst II. 9.
 Kernsäule II. 9.
 Netz, elektrisches I. 26.
 Netzversuch I. 26 f.
 Nickel I. 108. 124. II. 7. 14.
 Nickeldraht II. 104.
 Nickelcyd II. 25.
 Niveaufläche I. 90.
 elektrische I. 92.
 magnetische I. 124.
 Nordpol I. 104 ff. II. 29. 34. 44 f.
 Null-Leiter II. 163.
 Nullpunkt, absoluter II. 54.

- Dersted II. 27.
 Öffnungsstrom II. 79 f.
 Ohm II. 48. 50.
 Ohmscher Widerstand II. 48.
 Ohmsches Gesetz II. 48. 50. 62.
 68. 130.
 Oktaeder I. 106.
 Öl I. 18.
 Olivin I. 107.
 Opodeldofglas II. 18.
 Osten II. 29.
 Oszillation II. 92.
 Oszillator II. 100.
 Oszillatorische Entladung I. 86.
 II. 92.
 Oszillograph II. 141 f.
 Oxidschicht II. 14.
 Ozonbildung I. 70. 97.

 Page II. 46. 144.
 Paläopitrit I. 107.
 Papier I. 18. II. 33.
 Pappe I. 70.
 Paraffin I. 18. II. 60. 84. 102.
 150.
 Paragummi I. 18.
 Parallele Ströme II. 37.
 Parallelogramm I. 110.
 Parallelschaltung I. 84. II. 17.
 159.
 Stellung II. 30.
 Paramagnetisch I. 125.
 Passivität des Eisens II. 14.
 Pauspapier II. 30.
 Peltier II. 70.
 Peltiersche Wirkung II. 70.
 Pendel, elektrisches I. 14.

 Periode eines Wechselstromes
 II. 130 f. 134.
 Permanente Magnete I. 112.
 II. 34. 40. 104. 144.
 Petroleum II. 55. 100. 103.
 Pferdestärke II. 51. 88. 157.
 Phasen eines Wechselstromes
 II. 131. 159.
 Phasenlampen II. 160.
 Phasenunterschied II. 132. 134.
 Phasenverschiebung II. 135.
 Phenolphthalein II. 26.
 Phonolith I. 107.
 Physikalische Grundbegriffe
 I. 9 ff.
 Physiologische Wirkungen I. 10.
 II. 26.
 des Blitzes I. 97 f.
 Piezoelektrizität des Quarzes
 II. 73.
 Platin II. 7. 14. 18. 21. 35.
 43. 53. 57. 59. 71.
 Pleuelstange II. 46 f. 144.
 Plötzliche Entladung I. 67.
 Plus- u. Minuselektrophor I. 57.
 Poincaré II. 80.
 Pol, negativer II. 21. 26. 36. 39 f.
 positiver II. 21. 36. 39 f.
 Polarisationsstrom II. 23 f. 48 f.
 Polarisirt II. 23.
 Polarlicht I. 95.
 Pole einer Säule II. 8.
 eines Magneten I. 104.
 Polgehäuse II. 152. Taf. V.
 Polrad II. 158. 160.
 Polreagenzpapier II. 26.
 Polschuh II. 45. 152. 155.

- Porzellan I. 18.
 Porzellanplatte II. 33.
 Poſitive Elektrizität I. 17. II. 5. 13.
 Poſitive Elektronen I. 53.
 Potentialdifferenz II. 6. 15.
 Potential, elektriſches I. 34. 90. II. 6. 12. 15.
 magnetiſches I. 122.
 Potentialgefälle I. 94.
 Potentielle Energie I. 23. 89 f.
 Primärſpule II. 75. 83.
 Prinzip, dynamoelektriſches II. 147.
 von Le Chatelier = Braun II. 77. 80. 113.
 Probefahne I. 28.
 Probefugel I. 28.
 Probenadel I. 28.
 Projektionsgalvanometer II. 30 f. 45. 65. 69. 84. Taf. II.
 Projektionsgitter II. 12. 30.
 Pyroelektriſche Erſcheinungen II. 73.
 Pyroelektrizität II. 73.
 Quadrantelektrometer I. 24. II. 11 ff. 19. 30. 56. 62. 72. 142. Tafel I.
 Quarzfaden II. 11. 29.
 Quarzplatte II. 72.
 Queckſilber II. 14. 18 f. 23. 32. 37 f. 40. 43. 53. 60. 71. 79.
 Queckſilberunterbrecher II. 86.
 Radiator II. 100.
 Radioaktive Schichten I. 95.
 Radioaktive Subſtanz II. 73.
 Reflexionsgeſetz II. 102.
 Regulierwiderſtand II. 155 f.
 Reibungſelektriſiermaſchine I. 57.
 Reibungſelektrizität II. 47.
 Relais II. 101 f.
 Reſonanz II. 92.
 Reſonator II. 99.
 Reſonierender Schwingungs-
 kreis II. 93.
 Rettich II. 32.
 Richtkraft, magnetiſche I. 113.
 Richtmagnet II. 30.
 Rieß II. 76.
 Righi II. 100.
 Ringanker II. 150 f.
 Röhren, Geißlerſche I. 72. 86 II. 104.
 Röntgenſtrahlen I. 72. II. 89.
 Aufnahmen II. 89.
 Roß I. 120.
 Rotationsmagnetismus II. 113.
 Rotor II. 120. 161.
 Rübe II. 32.
 Rückſchlag, elektriſcher I. 44. 98
 Rühmforſſ II. 83.
 Säbel II. 34.
 Salbenſchachtel II. 11.
 Salpeterſäure, rauchende II. 14 19.
 verdünnte II. 14. 19.
 Salzlösungen I. 18.
 Salzwaffer II. 26.
 Sammelschienen II. 132 f. 157 159.
 Sauerſtoff II. 22. 48 f.

- Säulenelektroskop I. 13. 19.
 Taf. I. — II. 5. 9.
 Schablonenwicklung II. 154.
 Taf. VI.
 Scheidungskraft, elektrische
 II. 5.
 Schießpulver I. 70.
 Schiffskompaß I. 118.
 Schlagweite der Funken I. 54.
 59. 80. II. 85 f.
 Schlüpfung II. 127.
 Schnarcherfelsen I. 107.
 Schwarzenstein I. 107.
 Schwefel I. 18.
 Schwefelkies II. 7.
 Schwefelsäure II. 10. 13 ff. 22 f.
 25. 42. 54. 61.
 Schwimmer II. 42 f.
 Schwingungen, elektrische II. 40.
 90 ff.
 rasch gedämpfte II. 91.
 schwach gedämpfte II. 91.
 ungedämpfte II. 91.
 Schwingungstreife II. 93.
 Schwungmaschine II. 113 f. 125.
 Segelschiff I. 118.
 Seide I. 18.
 Sekundäres Element II. 24. 48.
 Sekundäre Spule II. 75. 83.
 115.
 Selbstentladung I. 81.
 Selbsterregende Influenzma-
 schine I. 64 ff. Tafel II.
 — II. Tafel III.
 Selbstinduktion II. 80. 135.
 Selen II. 54.
 Serienschaltung I. 83. II. 10.
 Serpentin I. 106 f.
 Shadleton I. 120.
 Siegellack I. 21.
 Siemens II. 147.
 Siemensseinheit II. 50.
 Siemens und Halste II. 60. 141.
 Silber II. 7 f. 14. 21. 52 f.
 Silbervoltmeter II. 58.
 Simon II. 86.
 Sinuslinie II. 129.
 Stineffekt II. 99.
 Solenoid II. 39 ff.
 Sonnenblumenmarkt I. 11 ff.
 Sonnenflecken I. 119.
 Spannung, elektrische I. 24. 46 ff.
 II. 8.
 eines Wechselstromes II. 131.
 Maß der I. 24.
 mittlere II. 31.
 Spannungsabfall II. 16.
 Spannungsbauch II. 95.
 Spannungsreihe I. 21. II. 6 f. 56.
 thermoelektrische II. 71.
 Spannungsteiler II. 164.
 Spannungsunterschied II. 6 f.
 10. 17. 24 f. 61. 85.
 Spezifische Leitungsfähigkeit II.
 53.
 Spezifischer Widerstand II. 53.
 Spielzeugindustrie II. 144.
 Spitzenwirkung I. 31. 48.
 Stahl I. 108. 112 f. II. 25.
 Englischer Werkzeugstahl I.
 112.
 Stahlmagnet I. 114. II. 34.
 40.
 Stahlstab II. 34.

- Stahlzungen II. 143.
 Standscheibe I. 60.
 Stanniol I. 60. 81. II. 72.
 Statische Elektrizität II. 52.
 Stator II. 120.
 Stearin II. 21.
 Stellwerk II. 146.
 St. Elmsfeuer I. 95.
 Sternschaltung II. 122 ff.
 Stimmgabel II. 93.
 Strahl, elektrischer II. 102.
 Strahlapparat II. 100.
 Straßenbahnbetrieb II. 157.
 Strom, elektrischer I. 42. 43. 70.
 II. 15. 18. 20. 23. 27. 39.
 49.
 Stromöffnung II. 18.
 Stromsammler II. 151.
 Stromschliebung II. 60.
 Stromschlüssel II. 60.
 Stromstärke II. 20. 62. 80.
 Einheit der II. 48 f.
 eines Wechselstromes II. 131.
 Maximum der II. 69.
 Messung der II. 56.
 Stromstärke, mittlere II. 131.
 Stromunterbrecher II. 86.
 Stromunterbrechung II. 18.
 Stromverlauf in einem gal-
 vanischen Element II. 28 f.
 39.
 Stromverzweigung II. 64.
 Stromwender II. 38. 151.
 Südpol I. 104 ff. II. 33 f. 41 f.
 Synchron II. 126.
 Synchronmotor II. 141. Taf. III.
 System, astatisches I. 118.
- Tafel, Franklinsche I. 78.
 Taschenlampe, elektrische I. 5.
 II. 20. 25.
 Telegraphie, elektrische II. 25.
 36.
 Telephon II. 70. 112.
 Telephonbetrieb, automatischer
 II. 146.
 Telephonie II. 25. 60.
 Tesla II. 97.
 Teslaströme II. 97.
 Teslatransformator II. 98.
 Thermo elektrische Spannungs-
 reihe II. 71.
 Thermo elektrizität II. 71.
 Thermo element II. 72.
 Thermometer II. 58.
 Thermo säule II. 71.
 Thomson II. 11.
 Titaneisen I. 107.
 Tonzelle II. 19.
 Töpler I. 59 ff. 72.
 Tourenzahl einer Wechselstrom-
 maschine II. 142. 159.
 Trachyt I. 107.
 Tragkraft eines Magneten I. 112
 115.
 Transformator II. 84.
 Trockenelemente II. 20. 49
 68.
 Trockensäule II. 8. 9. 12.
 Trogen I. 107.
 Trommelanker II. 153 f. Taf. VI
 Trommelwicklung II. 152.
 Taf. VI.
 Tschermak I. 106.
 Turbo-Generator II. Taf. VIII.

- Ultrarot II. 101.
 Ummagnetisierung von Magnet-
 nadeln I. 97.
 Unelektrische Körper I. 17. 19.
 Unipolarmaschine II. 114. 148.
 Unipuls II. 89.
 Unterbrecher, elektrolytischer II.
 86.
 von Simon II. 86.
 von Wehnelt II. 86.
 Unterseeboot I. 118.

 Vergrößerungslinse II. 12. 30.
 Verlauf d. Drehstromes II. 122 ff.
 Gleichstromes II. 115 f.
 Wechselstromes 119 ff.
 Verstärkungsapparate I. 72 ff.
 Verstärkungsflasche I. 67. 78 ff.
 II. 76. 88. 92.
 Verstärkungszahl I. 74.
 Vierleitersystem II. 165.
 Volt I. 24. 46 ff. 84. II. 5. 9.
 13 f. 25. 50 ff. 81.
 Volta I. 24. II. 5 ff. 10.
 Voltameter II. 62.
 Voltasche Säule II. 8 f.
 Voltmeter II. 62 f. 66.
 Vorhang, elektrischer I. 31.

 Wachs II. 22.
 Wachtflügel I. 107.
 Wagnerscher Hammer II. 34.
 Waltenhofen II. 114.
 Waltenhofensches Pendel II. 34.
 Wärmeeinheit II. 51.
 Wärme, Joulesche II. 51.
 Wärmestrahlung II. 69.

 Wärmewirkung II. 20. 26.
 Wasser I. 18. 103. 125. II. 17 f.
 32.
 Wasserstoff II. 22. 27. 48 f.
 Wasserturbine II. 151.
 Wasserzerseßungsapparat II. 57.
 Watt II. 51. 88.
 Wattloser Wechselstrom II. 138.
 Wattmeter II. 161.
 Weber I. 32.
 Wechselstrom II. 70. 83 f. 87.
 116.
 Effekt eines II. 136 ff.
 Entstehung des II. 119 ff.
 Frequenz eines II. 143.
 Phasen des II. 131.
 Spannung eines II. 131.
 Stromstärke eines II. 131.
 Verlauf des II. 119 ff.
 wattloser II. 138.
 Wechselströme, Eigenschaften der
 II. 127 ff.
 Wechselstrommaschinen II. 158 ff.
 Wechselstrommodell II. 119.
 Wehnelt II. 86.
 Wehnelt=Unterbrecher II. 86 f.
 Weißblech I. 21. 121.
 Wellen, elektrische II. 101.
 Wellenlinie II. 129.
 Wheatstone'sche Brücke II. 66 ff.
 Wickelung, bifilare II. 82.
 induktionsfreie II. 82.
 Widerstand II. 18. 48.
 äußerer II. 56.
 elektrischer II. 18.
 innerer II. 55 f. 59. 62.
 spezifischer II. 53.

- Widerstand von Flüssigkeiten II. 49. 69.
 Widerstandseinheit II. 48. 50. 54.
 Wilde I. 51.
 Wimshurst I. 64. 72.
 Wind, elektrischer I. 54.
 Winkler I. 98.
 Wirbelströme II. 112. 150.
 Wirkung des Blitzableiters I. 100.
 des Blitzes I. 96.
 des elektrischen Stromes I. 70 f.
 des Entladungsschlages I. 84 f.
 des Quadrantenelektrometers II. 12.
 Wirkungen der Elektrizität außerhalb der Strombahn II. 27.
 in der Strombahn II. 17.
- Wirkungen, elektrodynamische II. 36.
 physiologische II. 26.
 Wismut I. 125. II. 7. 70 f.
 Wolfram I. 115.
- Zamboni II. 8.
 Zambonische Säule II. 8.
 Zapon I. 56.
 Zelluloid II. 126.
 Zelluloidlack I. 56.
 Zentimeter=Gramm=Sekunden=System I. 32.
 Zickzackblitz I. 97.
 Zink II. 6 ff. 14. 19. 28. 71.
 Zinkdraht II. 13 f. 26. 28. 104
 Zinkplatten II. 7. 8. 19. 42.
 Zinkstreifen II. 13 f.
 Zinn II. 7. 71.
 Zweileitersystem II. 163.
 Zweiphasenstrom II. 122.

Naturwissenschaftliche Werke aus Phillipp Reclams Universal-Bibliothek.

Jede Nummer ist für 20 Pf. durch alle Buchhandlungen zu beziehen
.....

Bücher der Naturwissenschaft

herausgegeben von Prof. Dr. Siegmund Günther

1. Band. Grundriß der Naturphilosophie. Von Prof. Dr. Wilhelm Ostwald. 2. Aufl. Mit dem Bildnis des Verfassers. Nr. 4992/93. In Leinen 80 Pf. In Leder- oder Halbpergamentband M. 1.80.
2. Band. Geschichte der Naturwissenschaften. Von Prof. Dr. Siegm. Günther. 1. Teil. 2. Aufl. Mit dem Bildnis des Verf., 2 farbigen u. 4 schwarzen Tafeln. Nr. 5069/70.
3. Band. Geschichte der Naturwissenschaften. Von Prof. Dr. Siegm. Günther. II. Teil. 2. Auflage. Mit 2 farbigen und 8 schwarzen Tafeln. Nr. 5071-74. Beide Teile zusammen in einem Leinenband M. 1.50. In Leder- oder Halbpergamentband M. 3.—.
4. Band. Strahlungsercheinungen, Ionen, Elektronen und Radioaktivität. Von Dr. G. Bugge. 3. Aufl. Mit 4 Tafeln und 20 Zeichnungen im Text. Nr. 5151/52. In Leinen 80 Pf. In Leder- oder Halbpergamentband M. 1.80.
5. Band. Licht und Farbe. Von Prof. Dr. Rob. Weigel. 2. Aufl. Mit 1 Porträt, 4 bunten Tafeln u. 75 Zeichnungen im Text. Nr. 5188-90. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpergamentband M. 2.—.
6. Band. Der Sternenhimmel. Von Prof. Dr. J. B. Messerschmitt. Mit dem Bildnis des Verfassers, 4 farbigen, 9 schwarzen Tafeln und 24 Zeichnungen im Text. 2. Auflage. Nr. 5228-30. In Leinen M. 1.—. In Leder- od. Halbpergbd. M. 2.—.
7. Band. Die Abstammungslehre. Von Prof. Dr. Kurt Lampert. Mit dem Bildnis des Verfassers, 4 farbigen, 7 schwarzen Tafeln und 9 Abbildungen im Text. Nr. 5241-43. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpergamentband M. 2.—.
8. Band. Die chemischen Grundstoffe. Von Dr. Max Speter. Mit 4 farbigen, 6 schwarzen Tafeln, einer Atom-

Naturwissenschaftliche Werke aus Philipp Reclams Universal-Bibliothek.

.....

- gewichtstabelle u. 10 Figuren im Text. Nr. 5269/70. In Leinen 80 Pf. Zus. geb. mit Bd. 17 unterd. Titel Stoff und Energie im Lichte der Chemie in Leder- od. Halbpapgtbd. M. 2.50.
9. Band. Die Elektrizität. Von Prof. Franz Udami. 1. Teil. Mit 1 Porträt, 4 schwarzen Tafeln und 29 Textfiguren. 2. Aufl. Nr. 5298/99. Gebunden zus. mit Teil II, s. 14. Band.
10. Band. Die Wärme. Von Prof. Dr. Robert Geigel. Mit 4 Tafeln und 32 Zeichnungen im Text. Nr. 5321-23. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpapergamentband M. 2.—.
11. Band. Chemie und Technik. Von Dr. Günther Bugge. Mit 7 Tafeln u. 14 Zeichnungen im Text. Nr. 5348-50. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpapergamentband M. 2.—.
12. Band. Das Klima. Von Dr. Eugen Alt. Mit 3 farbigen Erdkarten und 4 Zeichnungen im Text. Nr. 5431/32. In Leinen 80 Pf. In Leder- oder Halbpapergamentband M. 1.80.
13. Band. Physik der Gestirne. Von Prof. Dr. J. B. Messerschmitt. Mit 4 farbigen und 9 schwarzen Tafeln und 21 Zeichnungen im Text. Nr. 5451-53. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpapergamentband M. 2.—.
14. Band. Die Elektrizität. Von Prof. Franz Udami. II. Teil. Mit 4 farbigen und 8 schwarzen Tafeln, 89 Zeichnungen im Text und einem Gesamtregister für Elektrizität I u. II. Nr. 5478-80. Teil I u. II zusammen in einem Leinenband M. 1.50. In einem Leder- oder Halbpapergamentband M. 2.70.
15. Band. Vom Keim zum Leben. Von Prof. Dr. Kurt Lampert. Mit 4 bunten und 8 schwarzen Tafeln und 13 Abbildungen im Text. Nr. 5501-3. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpapergamentband M. 2.—.
16. Band. Schnee und Eis der Erde. Von Prof. Dr. S. Wieleitner. Mit 16 Tafeln und 26 Abbildungen im Text. Nr. 5521-23. In Leinen M. 1.—. In Leder- od. Halbpapgtbd. M. 2.—.
17. Band. Die chemische Verwandtschaft und ihre Beziehungen zu den übrigen Energieformen. Von Dr. Max Speter. Mit 4 Porträttafeln und 6 Abbil-

Naturwissenschaftliche Werke aus Philipp Reclams Universal-Bibliothek.

.....

dungen im Text. Nr. 5571/72. In Leinen 80 Pf. Zusammen gebunden mit Band 8 unter dem Titel Stoff und Energie im Lichte der Chemie in Leder- oder Halbpptbd. M. 2.50.

18. Band. **Der Wirbeltierkörper.** Eine vergleichende Anatomie von Dr. Fr. Hempelmann. I. Teil. Mit 2 bunten und 2 einfarbigen Tafeln und 62 Abbildungen im Text. Nr. 5609/10. Mit Teil II zus. in einem Leinenband M. 1.50. In einem Leder- oder Halbpergamantband M. 2.70.
19. Band. **Der Wirbeltierkörper.** Eine vergleichende Anatomie von Dr. Fr. Hempelmann. II. Teil. Mit 2 bunten und 2 einfarbigen Tafeln und 71 Abbildungen im Text und einem Gesamtregister für Der Wirbeltierkörper I u. II. Nr. 5611—13. Mit Teil I zus. in einem Leinenband M. 1.50. In einem Leder- oder Halbpergamantband M. 2.70.
20. Band. **Meereskunde.** Von Prof. Dr. Adolf Pahde. Mit 3 farbigen Kartenbeilagen, 7 schwarzen Tafeln, 1 Porträtbeilage und 13 Abbildungen im Text. Nr. 5632—34. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpergamantband M. 2.—.
21. Band. **Die Welt der Kolloide.** Von Dr. Heinr. Leiser. Mit 7 Tafeln und 15 Abbildungen im Text. Nr. 5651/52. In Leinen 80 Pf. In Leder- oder Halbpergamantband M. 1.80.
22. Band. **Der Säugetierorganismus und seine Leistungen.** Von Prof. Dr. Ernst Th. v. Brücke. I. Teil. Mit 4 bunten und 3 einfarbigen Tafeln und 21 Zeichnungen im Text. Nr. 5678—80.
23. Band. **Der Säugetierorganismus und seine Leistungen.** Von Prof. Dr. Ernst Th. v. Brücke. II. Teil. Mit 3 Tafeln und 28 Zeichnungen im Text und einem Gesamtregister für Der Säugetierorganismus und seine Leistungen I und II. Nr. 5681—83. Mit Teil I zus. in einem Leinenbd. M. 1.75. In einem Leder- od. Halbpptbd. M. 3.—.
24. Band. **Das Süßwasser der Erde.** Von Prof. Dr. W. Halbfasß. Mit einem Porträt, 14 Tafeln und 13 Abbildungen im Text. Nr. 5708—10. In Leinen M. 1.—. In Leder- oder Halbpergamantband M. 2.—.

Helios-Klassiker-Ausgaben.

- L. = biegsamer Leinenband. Ld. = biegsamer Lederband mit Goldschnitt.
- Börnes** gesammelte Schriften. 3 Bände. L. M. 5.—
- Byrons** sämtliche Werke. 3 Bände. L. M. 5.—
- Chamisso** sämtl. Werke. 2 Bde. L. M. 2.50, Ld. M. 7.—
— poetische und erzählende Werke. 1 Band. L. M. 1.25.
- Eichendorffs** ges. Werke. 2 Bde. L. M. 3.—, Ld. M. 7.—
- Gaudys** ausgewählte Werke. 2 Bände. L. M. 3.50.
- Geibels** ausgew. Werke. 2 Bde. L. M. 2.50. Ld. M. 7.—
- Goethes** Werke in 4 Hauptbänden. L. M. 5.—, Ld. M. 14.—
Preis der Ergänzungsbände (bisher 4 erschienen) in L. je M. 1.25, in Ld. je M. 3.50.
- Grabbes** sämtliche Werke. 2 Bände. L. M. 3.50.
- Grillparzers** sämtl. Werke. 3 Bde. L. M. 5.—, Ld. M. 10.—
- Haupts** sämtliche Werke. 2 Bde. L. M. 3.—, Ld. M. 8.—
- Hebbels** sämtl. Werke. 4 Bde. L. M. 5.—, Ld. M. 14.—
2 Ergänz.-Bde. L. M. 2.50, Ld. M. 7.—.
- Heines** sämtliche Werke. 4 Bde. L. M. 5.—, Ld. M. 14.—
- Herders** ausgewählte Werke. 3 Bände. L. M. 5.—
- Leists** sämtliche Werke. 1 Bd. L. M. 1.50, Ld. M. 3.75.
- Körners** sämtliche Werke. 1 Bd. L. M. 1.40, Ld. M. 3.50.
- Lenaus** sämtliche Werke. 1 Band. L. M. 1.50, Ld. M. 3.75.
- Lessings** Werke. 3 Bände. L. M. 5.—, Ld. M. 10.—
— poetische und dramatische Werke. 1 Band. L. M. 1.75.
- Longfellow**s sämtliche poetische Werke. 2 Bde. L. M. 3.50.
- Ludwigs** ausgewählte Werke. 1 Bd. L. M. 1.75, Ld. M. 4.—
- Miltons** poetische Werke. 1 Band. L. M. 2.—
- Molières** sämtliche Werke. 2 Bände. L. M. 3.50.
- Mörkes** sämtliche Werke. 2 Bde. L. M. 3.50, Ld. M. 7.—
- Reuters** sämtliche Werke. 4 Bde. L. M. 6.—, Ld. M. 14.—
— ausgewählte Werke. 2 Bände. L. M. 3.50, Ld. M. 8.—
- Rückerts** ausgew. Werke. 3 Bde. L. M. 5.—, Ld. M. 10.—
- Schillers** sämtl. Werke. 4 Hauptbde. L. M. 5.—, Ld. M. 14.—
— — 4 Hptbde. u. 2 Ergänz.-Bde. L. M. 7.50, Ld. M. 20.—
- Shakespeares** sämtliche dramatische Werke. 4 Bde. L. M. 5.—
Ld. M. 14.—
- Stifters** ausgew. Werke. 2 Bde. L. M. 3.50 Ld. M. 7.—
- Uhlands** gesammelte Werke. 2 Bde. L. 2.50, Ld. M. 7.—

**Naturwissenschaftliche Werke aus Reclams
..... Universal-Bibliothek**

Lombroso, Cesare, Genie und Irrsinn in ihren Beziehungen zum Gesetz, zur Kritik und zur Geschichte. Uebersetzt von A. Courth. Nr. 2313-16. In Leinen M. 1.20, in Leder- oder Halbpergamentband M. 2.50.

— **Studien über Genie und Entartung.** Autorisierte Uebersetzung nach dem Italienischen von Dr. E. Zentsch. Mit Lombrosos Bild. Nr. 5218-20. In Leinen M. 1.—.

Lucretius, Titus Carus, Von der Natur der Dinge. Uebersetzt von R. Ludwig v. Knebel. Neu herausgegeben von Dr. D. Güthling. Nr. 4258-60. In Leinen M. 1.—.

Meyer, M. Wilhelm, Auf der Sternwarte oder Wie der Astronom zu den Resultaten seiner Forschung gelangt. Nr. 2305. In Leinen 60 Pf.

Möbius, P. J., Das Nervensystem des Menschen und seine Erkrankungen. Mit 7 Holzschnitten. Nr. 1410. In Leinen 60 Pf.

Neumann, Carl W., Wunder der Urwelt. Naturwissenschaftl. Plaudereien. Nr. 5450 und 5695. In Leinen je 60 Pf.

Parreidt, Julius, Die Zähne und ihre Pflege. Mit 15 Holzschnitten. 3. Aufl. Nr. 1760. In Leinen 60 Pf.

Reclam, Carl, Gesundheits-Schlüssel für Haus, Schule u. Arbeit. Mit 12 Holzschn. Nr. 1001. In Leinen 60 Pf.

Schopenhauer, Arthur, Werke in 6 Bänden. Herausgegeben von Eduard Grisebach. Band VI. Enthält: Farbenlehre. Nr. 2861-65. In Leinen M. 1.50.

Stanley, Henry M., Wie ich Livingstone fand. Reisen, Abenteuer u. Entdeckungen in Zentral-Afrika. 2 Teile. Nr. 2909-13. Zusammen gebunden in Leinen M. 1.50.

Vir, Dr. Ernst, Die Totenbestattung in vorgeschichtlicher und geschichtlicher Zeit, in Gegenwart und Zukunft. Mit besonderer Berücksichtigung der Toteneinäscherung. Nr. 3551/52. In Leinen 80 Pf.

Tromholt, Sophus, Eine Reise durch den Weltraum. Mit 50 Abbildungen. 3. verbesserte Auflage, herausgegeben von Dr. M. Wth. Meyer. Geh. M. 1.—, geb. M. 1.50.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301743

Reclams Universum

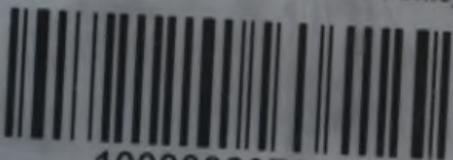
Moderne illustrierte Wochenschrift

Reicher Inhalt und vornehme Ausstattung haben Reclams Universum zu der anerkannten Lieblingszeitschrift der gebildeten Gesellschaftskreise des In- und Auslandes gemacht! Reclams Universum bietet seinen Lesern neben spannenden Romanen und Novellen erster Autoren und interessanten illustrierten Artikeln aus allen Wissensgebieten eine aktuelle reich illustrierte Weltanschauung, ferner drei wertvolle Beilagen: „Für unsere Frauen“ — „Wissen und Leben“ — „Romanbibliothek“ und prachtvolle zum Teil mehrfarbige Kunstblätter.

Vierteljahrspreis

ohne Zustellmasgebühren für 13 Hefte in Deutschland 4 M.
Beilagen einschli. Porto
8 M. Zusatzausgabe kostet
h 6 M.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297140

Porto direkt
in. in Leipzig