

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

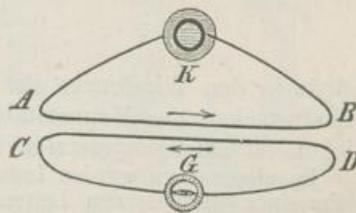
Auf dieses Verhalten der Solenoidströme gründete Ampère eine neue Theorie der magnetischen Erscheinungen, durch welche die magnetischen Wirkungen auf das Vorhandensein elektrischer Strömungen im Innern der magnetischen Körper zurückgeführt werden. Ampère geht nämlich von der Vorstellung aus, daß die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

B. Induktionsströme.

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

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

Fig. 280.



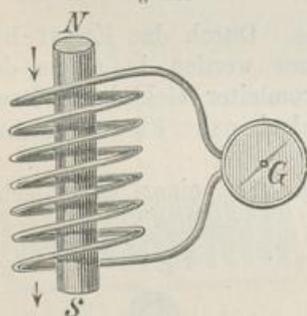
induzierenden Draht abhängt. Die durch Öffnen und Schließen der Kette erzeugten Induktionsströme sind von unmeßbar kurzer Dauer. — Da die Intensität des Induktionsstromes mit der Länge der einander gegenüberstehenden Drahtstrecken AB , CD wächst, so giebt man denselben zweckmäßig die Form zweier parallel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

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

Die Induktionsströme wurden von Faraday im Jahre 1831 entdeckt.

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

Fig. 281.



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

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

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

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

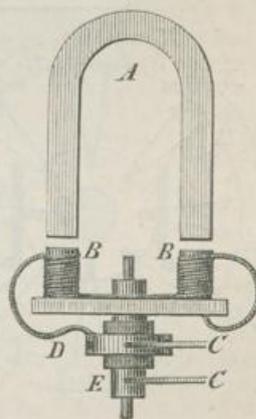
Durch die Entstehung magnetoelektrischer Induktionsströme erklärt sich die dämpfende Wirkung, welche eine Kupferscheibe auf die Schwingungen einer über derselben schwebenden Magnetnadel ausübt, und durch welche Arago (1825) zur Entdeckung des von ihm sogenannten Rotationsmagnetismus geführt wurde. Wird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

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

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

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

Fig. 282.



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

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

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

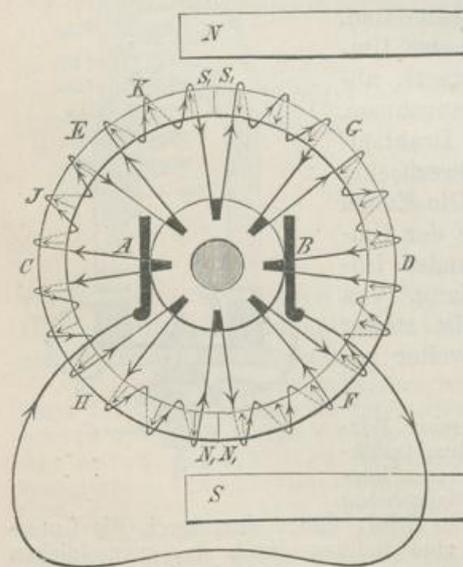
§ 332a. Der Grammesche Ring. Bei den Grammeschen Maschinen (§ 332) sind die mit Induktionsspiralen versehenen, rotierenden Eisencylinder ersetzt durch einen Eisenring, der von Kupferspiralen umgeben ist (Fig. 282a) und zwischen den Polen *N* und *S* eines Elektromagnets rotiert. Die Spiralen sind unter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

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

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

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

Fig. 282 a.



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

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

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

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

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

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

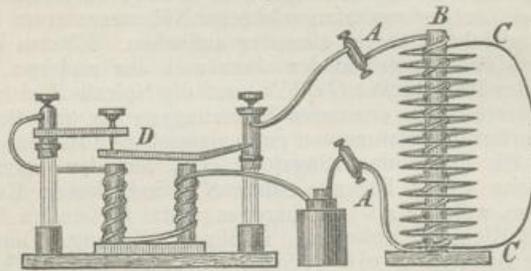
Zur elektrischen Kraftübertragung wird die Stromerzeugungsmaschine mit einer zweiten dynamischen Maschine leitend verbunden. In dieser wird durch den intensiven, elektrischen Strom ein Cylinder mit solcher Stärke in Drehung versetzt, daß weiterhin, vermittelt eines Triebwerkes, jeder beliebige mechanische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

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

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

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

Fig. 283.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

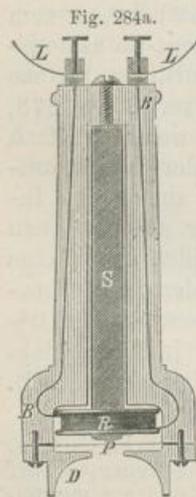
Rühmkorff (1851) u. a. haben Induktionsapparate von außerordentlicher Wirkung hergestellt, welche bei einer Länge des Induktionsdrahtes von 60 cm Funken von 30—40 cm Länge erzeugten. (Um mittelst der Spannung an den Polen einer galvanischen Kette einen Luftraum von 0,2 mm zu überspringen, brauchte Gassiot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

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

Fig. 284.



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



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

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

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

steht d
über.
Verbi
ein g

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

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

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

C. W

S
Ein vo
und z
Draht
Nach e
einhe
und d

B
es zwe

mit mö

D
werden

erhitzt.

geringe

schmol

trischer

geeigne

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

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

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

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

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

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

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

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