Der in den folgenden Zeilen beschriebene Apparat verdankt seine Entstehung dem Wunsche eine Vorrichtung zu schaffen, die dem Schüler in einfacher Weise Ampères Theorie des Magnetismus auch für Molekularströme auf experimentellem Wege klar zu machen im stande ist. Ein solcher Apparat existiert allerdings für Molekularmagnete, ist jedoch, soweit dem Verfasser bekannt ist, für Molekularströme bislang nicht konstruiert worden. Bei Herstellung des letzteren handelt es sich um die Aufgabe, eine Reihe von einander unabhängiger, beweglicher Kreisstrombahnen herzustellen, die hintereinander beweglich montiert ein Stück Eisen darstellen sollen, dessen Moleküle von solchen Kreisströmen umflossen gedacht werden. Nicht allein die Bedeutung, welche den Kreisströmen dadurch beigelegt wird, sondern auch die praktische Ausführbarkeit beschränkt ohne weiteres ihre Grösse. Das infolgedessen gleichzeitig herabgedrückte Drehungsmoment des Stromleiters muss daher durch leichte Beweglichkeit kompensiert werden. Die gewöhnliche Art der Aufhängung mit Stahlspitzen und Stromzuführung durch Quecksilber verbietet sich wegen der damit verbundenen Reibung also von vornherein. Dieser Fehler ist jedoch bei der Vorrichtung schwimmender Ströme nach de la Rive schon geringer, die zugleich den bei der vorliegenden Aufgabe nicht zu unterschätzenden Vorteil besitzen, dass die Stromerzeugung und die Zuführung desselben die denkbar einfachste ist. Allein, abgesehen davon, dass infolge der aufsteigenden Gasblasen, die sich unter dem Kork ansammeln, der Leiter hin- und herschaukelt, wird er nach einiger Zeit unfehlbar sich der Gefässwand nähern und an dieser beeinflusst durch Molekularkräfte haften bleiben, so dass eine Einwirkung magnetischer oder elektrischer Kräfte illusorisch gemacht wird. Wegen der oben genannten Vorzüge erschien jedoch de la Rives Prinzip als das für den vorliegenden Fall günstigste, nachdem es durch den Verfasser in der Weise abgeändert wurde, dass die Ströme, anstatt auf Kork zu schwimmen, an Seidenfäden aufgehängt wurden. Der Versuch mit vier derartig hintereinander aufgehängten Kreisströmen gelang so gut, dass es sich verlohnte, auf die elektrodynamischen Versuche von Ampère zurückzugreifen, deren Gelingen durch die Reibung und Oberflächenspannung des Quecksilbers beim alten Apparat recht beeinträchtigt wird. Auch hier zeigte sich die vom Verfasser angewandte Methode so vorteilhaft, dass der Gedanke nahe lag, den Apparat so zusammenzustellen, dass an ihm die weitaus meisten Gesetze aus den ihrem Wesen nach zusammengehörigen Gebieten des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Elektrodynamik einen experimentellen Nachweis finden konnten.

Wie aus dem folgenden hervorgeht, ist die Herstellung des Apparates für einen in mechanischen Arbeiten etwas Geübten nicht schwierig und jedenfalls, auch bei Herstellung durch den Mechaniker, mit nur geringen Kosten verknüpft. Ausserdem gewinnt der Apparat dadurch an Durchsichtigkeit, dass Multiplikatoren vermieden sind und nur einfache Stromwege zur Anwendung gelangen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

I. Beschreibung und Herstellung des Apparates.

Von allen Teilen des Apparates mit Ausnahme der allgemein bekannten oder weniger wichtigen sind Zeichnungen mit Angabe des Grössenmasses beigegeben, auf welche hiermit verwiesen wird.

Grosses Stativ. *Fig. 1.*

Auf einer kreisförmigen schweren Grundplatte aus Messing von 16 cm Durchmesser ist eine 42,5 cm hohe Säule errichtet, auf deren Kopf ein horizontaler Balken aus gleichem Metall mit dem einen Ende ruht, und dessen auslegende Länge ungefähr 17 cm beträgt. In diesen sind im Abstand von je 3,5 cm vier vertikale Löcher gebohrt, in welche kleine hölzerne Wirbel mit Kopf, ähnlich denen an einer Geige, passen. Die Zapfen dieser Wirbel, werden am besten aus Messingröhrchen gefertigt, welche man der Länge nach aufschlitzt und etwas auseinanderbiegt, damit sie durch Federkraft festgehalten sich mit gelinder Reibung drehen lassen. Seitlich von jedem Wirbel sind an dem Horizontalbalken ebenfalls horizontale Ausleger von ca. 2 cm Länge angebracht, deren äusseres Ende ein Öhr hat. An jedem Wirbel wird ein ungedrehter Seidenfaden von ca. 30 cm Länge befestigt, durch das Öhr gezogen und an sein Ende ein Häkchen aus Messingdraht geknüpft. An diese Häkchen werden bei den Versuchen die verschiedenen Stromkreise aufgehängt und durch Drehen der Wirbel auf die passende Höhe eingestellt.

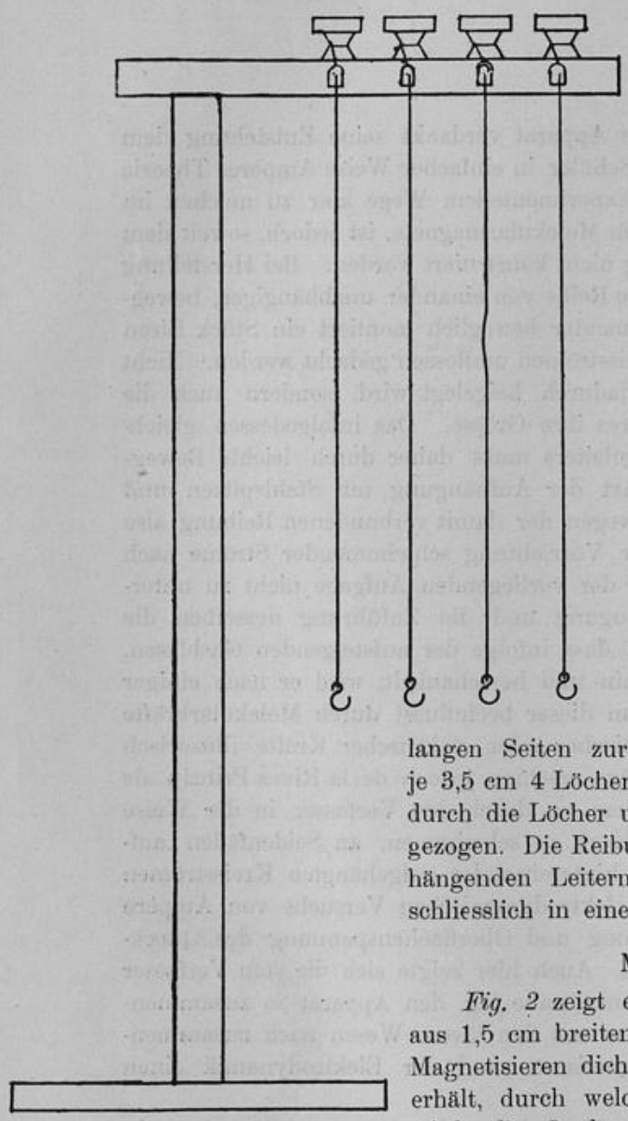

Fig. 1 $^1/_3$ *nat. Gr.*

Will man sich dieses Stativ in einfacherer Weise herstellen, so braucht man nur ein rechteckiges Zinkblech von 4 × 17 cm Seite längs den beiden langen Seiten zur Versteifung aufzubiegen und im Abstande von je 3,5 cm 4 Löcher in dasselbe zu bohren. Die Seidenfäden werden durch die Löcher und dann mittels einer feinen Nadel durch Korke gezogen. Die Reibung in den Korken hält die Fäden mit den daranhängenden Leitern in der richtigen Höhe. Das Zinkblech wird schliesslich in einen Retortenhalter geklemmt.

Magnetnadeln. *Fig. 2, 3, 4.*

Fig. 2 zeigt eine Magnetnadel, die in der Länge von 10,5 cm aus 1,5 cm breitem Uhrfederblech geschnitten wird und nach dem Magnetisieren dicht über dem nunmehrigen Schwerpunkt ein Loch erhält, durch welches ein dünner Draht zum Aufhängen gezogen wird. Das Loch muss sich so dicht über dem Schwerpunkt befinden, dass eine geringe Kraft schon die Nadel aus der horizontalen Lage bringt. Das Nordende der Nadel wird rot lackiert Eine gleiche Nadel wird, wie *Fig. 3* zeigt, durch eine Pappscheibe von der Form eines Kreises mit 5 cm Durchmesser gesteckt und darin mit etwas Siegellack befestigt. Die Scheibe trägt oben ein Loch zum Aufhängen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

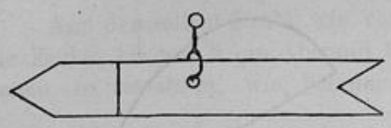

Fig. 2. ½ *nat. Gr.*

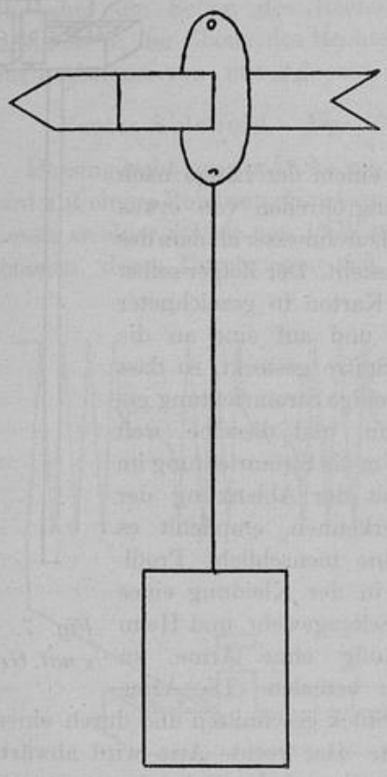

Fig. 3. ½ *nat. Gr.*

und unten einen 16 cm langen Draht, der in ein rechteckiges dünnes Kupferblech (d = 0,005 cm) mit den Seiten 4 und 5,5 cm endigt. Die Nordseite der Pappscheibe wird rot, die Südseite grün gefärbt, der Nordpol wieder rot lackiert.

In ähnlicher Weise wird der in *Fig. 4* gezeichnete Molekularmagnet in 4 Exemplaren hergestellt. Der Magnet selbst ist ein 2,5 cm langes Stück einer dicken Stricknadel; die Scheibe hat 3,5 cm Durchmesser, in deren tiefstem Punkt ein aus der Figur ersichtliches dünnes Kupferblech gehakt ist. Der schmale Teil desselben ist 5,5 cm lang, der breitere Teil ein Rechteck mit den Seiten 3 und 2 cm.

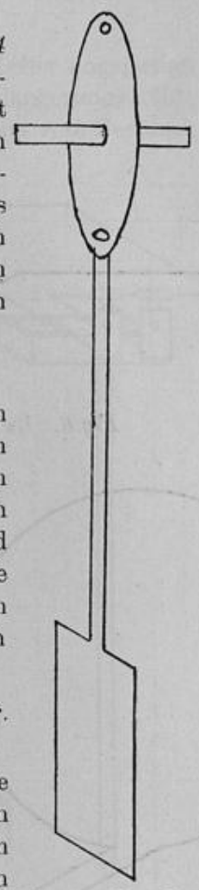

Fig. 4 Nat. Gr.

Kleines Stativ. *Fig. 5.*

Die schwere Grundplatte des kleinen Stativs ist ein Rechteck mit den Seiten 18 und 7,5 cm, und ruht auf drei kleinen Zapfen. An dem einen Ende steht ein Messingrohr von 0,7 cm lichter Weite und 14 cm Höhe, welches am oberen Ende eine Klemmschraube trägt. In diesem werden die im Folgenden beschriebenen festen Leiter eingeklemmt.

Fester vertikaler Rechteck-Leiter. *Fig. 6.*

Ein Messingdraht von 0,25 cm Dicke wird zu einem Rechteck gebogen, dessen Seiten 15 und 21 cm sind. In 1 cm Abstand von der Mitte der einen langen Seite werden die Drahtenden rechtwinklig zur Ebene des Rechtecks umgebogen und, eingerechnet eine Öse am Ende, 14 cm lang gemacht. In einer Entfernung von 8,5 cm wird je ein rechteckiger Lappen aus Messingblech von 1,7 × 2 cm Seite mit der kurzen Seite an beide Drähte gelötet. Mit Hülfe dieser Messingbleche wird das ganze auf ein Holzklötzchen von den Dimensionen 5,5 × 2,5 × 1,5 cm geschroben. Auf die entgegengesetzte Seite des Klötzchens schraubt man ebenfalls mit einem Messinglappen einen Draht von 14 cm Länge und 0,6 cm Dicke, der parallel zur Ebene des Rechtecks verläuft. Mit diesem wird der Leiter beim Gebrauch in dem Stativ *Fig. 5* in beliebiger Höhe befestigt. Zu dem beschriebenen wie auch zu den folgenden Leitern gehört noch ein Pfeil, der die Stromrichtung anzeigen soll und in der Figur erkennbar ist. Derselbe wird mit einer kleinen Klemme aus Messing nach Art der Shlipsklemmen an dem jeweilig gebrauchten Leiter an passender Stelle befestigt. Die Backen der

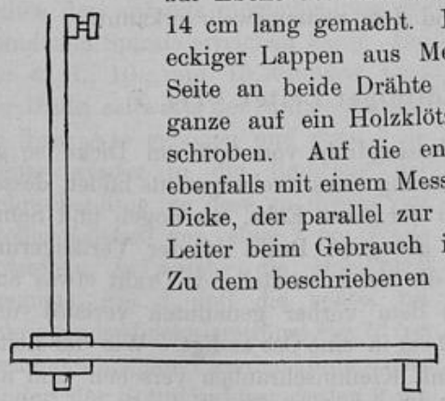

Fig. 5. ⅓ *nat. Gr.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

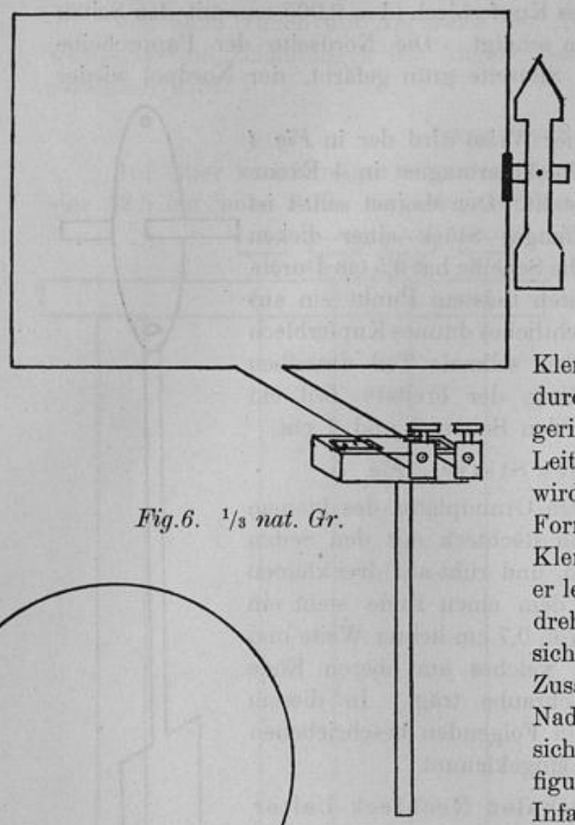

Fig. 6. $^1/_3$ *nat. Gr.*

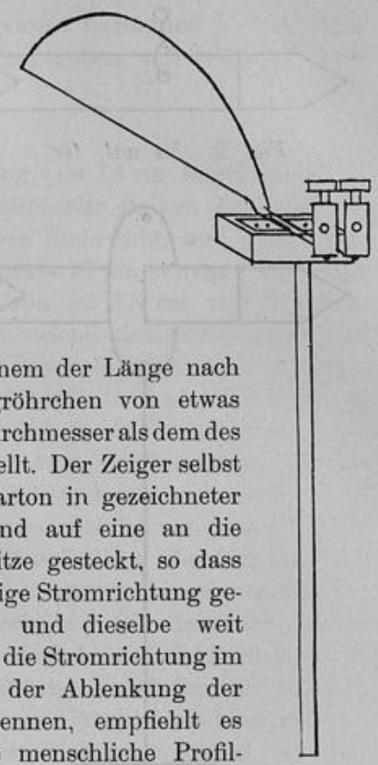

Fig. 7. $^1/_3$ *nat. Gr.*

Klemme sind aus einem der Länge nach durchsägten Messingröhrchen von etwas geringerem innern Durchmesser als dem des Leiterdrahtes hergestellt. Der Zeiger selbst wird aus weissem Karton in gezeichneter Form geschnitten und auf eine an die Klemme gelötete Spitze gesteckt, so dass er leicht in die jeweilige Stromrichtung gedreht werden kann und dieselbe weit sichtbar anzeigt. Um die Stromrichtung im Zusammenhang mit der Ablenkung der Nadel sicher zu erkennen, empfiehlt es sich ausserdem eine menschliche Profilfigur, am besten in der Kleidung eines Infanteristen mit Seitengewehr und Helm aus Pappe, vorläufig ohne Arme, zu schneiden und zu bemalen. Die Arme werden nachträglich aus einem Stück geschnitten und durch einen Schlitz an der Schulter gesteckt. Der rechte Arm wird abwärts gestreckt auf den Leib geklebt, während der linke Arm seitwärts ausgestreckt bleibt. An dieser Figur wird die Stromrichtung leicht an der Helmspitze, die Front an den Knöpfen und die linke Seite am ausgestrekten Arm und dem Seitengewehr erkannt.

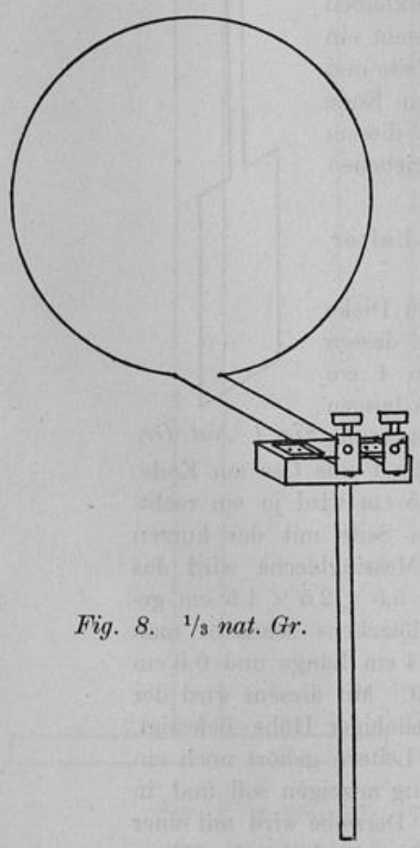

Fig. 8. $^1/_3$ *nat. Gr.*

Fester geradliniger Leiter. *Fig. 7.*

Derselbe wird aus Messingdraht von 0,25 cm Dicke so gebogen, dass er die Umgrenzung eines Kreissegments bildet, dessen Sehne 18 cm lang ist. In der einen Ecke, wo Bogen und Sehne sich treffen, verläuft der gebogene Draht in der Verlängerung der Sehne, während der die Sehne vorstellende Draht etwas ausweicht, dann parallel zu dem vorher genannten verläuft und ebenso wie dieser nach 4,2 cm in eine Öse endigt. Wie der Leiter *Fig. 6* wird auch dieser mit Klemmschrauben versehen und auf einem Holzklötzchen, dessen Länge hier nur 4 cm einnimmt, festgeschroben. Der unterhalb des Klötzchens zu befestigende Haltedraht wird 21 cm lang gemacht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fester Kreis-Leiter. *Fig. 8.*

Aus demselben Draht wie vorher wird ein Kreis von 15 cm Durchmesser geformt und die Enden bis auf 2 cm Abstand rechtwinklig zur Kreisebene umgebogen. Im übrigen wird genau so verfahren, wie bei dem beschriebenen Rechteckleiter.

Fester horizontaler Rechteck-Leiter. *Fig. 9.*

Auch dieser Leiter wird in derselben Weise wie der vertikale Rechteck-Leiter angefertigt. Nur sind die Seiten des Rechtecks 16,5 und 11 cm lang, und die Verlängerungsdrähte verlaufen in der Ebene des Rechtecks und sind 7 cm lang. Das Hölzchen hat vom Rechteck einen Abstand von nur 2,5 cm; der Haltedraht ist 21 cm lang.

Festes Solenoid. *Fig. 10.*

Messingdraht von der Dicke wie vorher, wird auf einem Rohr von etwa 4 cm Durchmesser zu einer Spirale von 16 Windungen gebogen, deren Durchmesser 5,5 cm beträgt, so dass die Ganghöhe etwa 0,65 cm ist, was man durch passendes Ausziehen der anfangs möglichst eng gewundenen Spirale erreichen kann. Bei der 4., 7., 10., und 13. Windung wird der Draht seitwärts der Spirale parallel zu ihrer Axe gebogen und etwa 1 cm weiter wieder in die Richtung der Schraubenlinie, so dass an diesen vier Stellen Lücken von etwa 2 cm Weite entstehen, in welche die Molekularmagnete *Fig. 4* und die später beschriebenen Molekularströme *Fig. 13* frei drehbar eingehängt werden können. Die Enden des Spiraldrahtes werden 2 cm abwärts und dann horizontal, senkrecht zur Axe der Spirale, gerichtet und 10 cm lang gemacht. Die zu Ösen geformten Enden tragen wiederum Klemmschrauben und das ganze wird wie früher mit Messingblechen auf eine Leiste von 21 cm Länge und den übrigen Dimensionen wie in *Fig. 6* geschroben. In derselben Weise wird unterhalb ein Haltedraht von 15 cm Länge befestigt. Schliesslich werden an den oberen Endpunkten des Solenoides, sowie in der Mitte, seitlich, abgewandt von der Halteleiste, im ganzen drei Drahtspitzen gelötet, auf welche Pfeile aus Karton zur Angabe der Stromrichtung gesteckt werden.

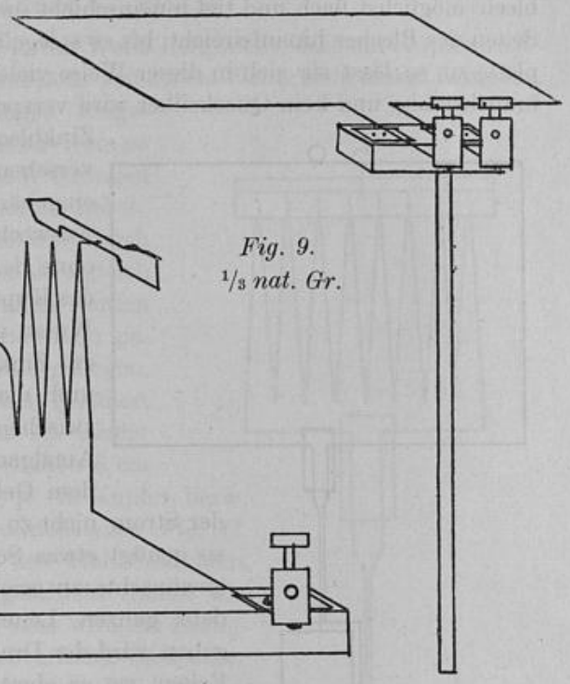

Fig. 9.
1/3 nat. Gr.

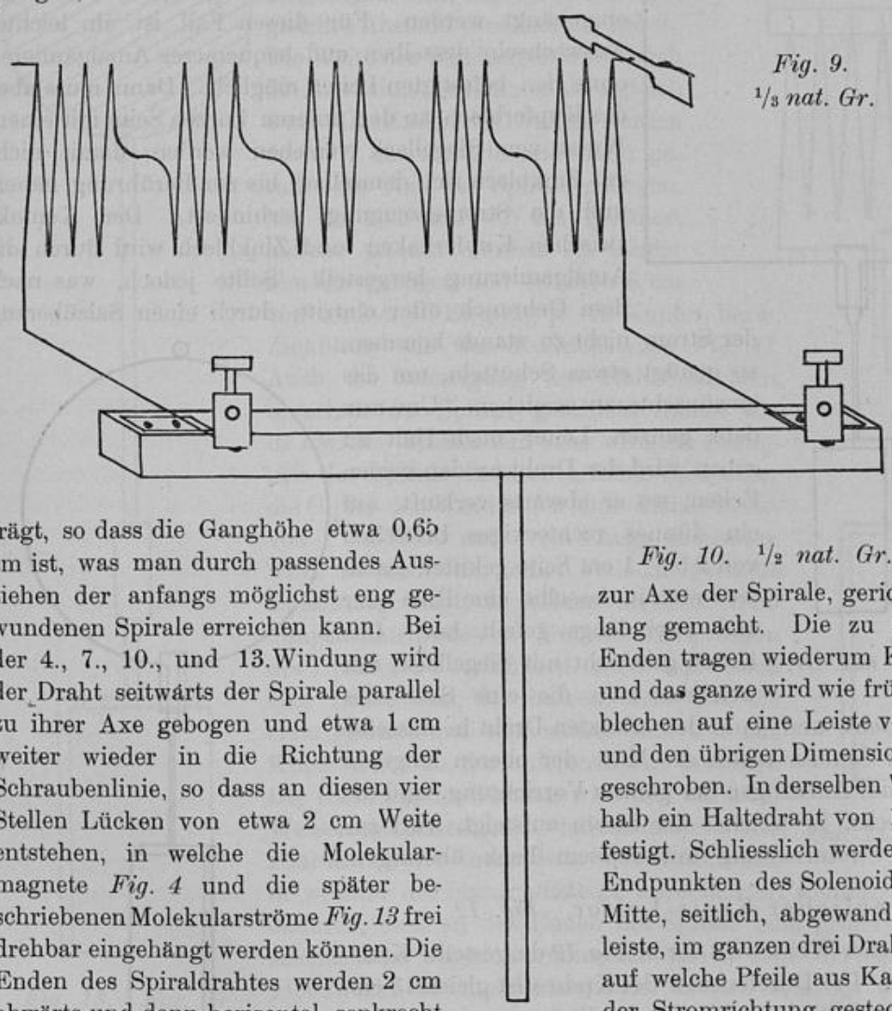

Fig. 10. *1/2 nat. Gr.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beweglicher Rechteck-Leiter. *Fig. 11.*

Die beweglichen Leiter sind sämtlich aus Kupferdraht von 1 mm Dicke hergestellt. Im vorliegenden Falle wird derselbe zu einem Rechteck von 12 × 17,5 cm Seite geformt und die Enden in der Mitte der einen langen Seite bis auf einen gegenseitigen Abstand von ½ cm rechtwinklig in der Ebene des Rechtecks abwärts gebogen, in einer Länge von 8 cm abgeschnitten und an das eine Ende ein rechteckiges dünnes Kupferblech mit denSeiten 7 und 3 cm, an das andere Ende ein Zinkblech derselben Grösse, jedoch von 0,7 mm Dicke, gelötet. Auf jede Lötstelle kommt als Schutz ein Tropfen Siegellack, den man über einer Flamme breit laufen lässt. Schliesslich wird das Zinkblech gut amalgamiert, indem man in eine flache Schale, wie sie zum Photographieren benutzt wird, verdünnte Schwefelsäure und etwas Quecksilber giesst, das Zinkblech möglichst flach und tief hineinschiebt und mittels eines Korkes das Quecksilber auf beide Seiten des Bleches hinaufstreicht, bis es spiegelblank ist. Deckt man die Schale mit einer Glasplatte zu, so lässt sie sich in dieser Weise viele Male zum Amalgamieren benutzen, ist stets gebrauchsfähig, und kein Quecksilber wird verspritzt. Übrigens ist es nicht gerade notwendig das Zinkblech festzulöten; es kann auch mit einem Loch versehen in das zu einem Haken gebogene Drahtende eingehängt werden. Für diesen Fall ist ein leichtes Auswechseln desselben und bequemeres Amalgamieren ohne den befestigten Leiter möglich. Dann muss aber das Kupferblech an der unteren kurzen Seite mit einem Wulst von Siegellack versehen werden, damit nicht das Zinkblech sich demselben bis zur Berührung nähert und die Stromerzeugung verhindert. Der Kontakt zwischen Kupferhaken und Zinkblech wird durch die Amalgamierung hergestellt. Sollte jedoch, was nach dem Gebrauch öfter eintritt, durch einen Salzüberzug der Strom nicht zu stande kommen, so genügt etwas Schütteln, um das gewünschte zu erreichen. Um nun dem ganzen Leiter noch Halt zu geben, wird der Draht an den beiden Ecken, wo er abwärts verläuft, auf ein dünnes rechteckiges Brettchen von 2,5 × 1 cm Seite gekittet, nachdem man in dasselbe eine Rille quer und zwei längs gefeilt hat. Das Kitten geschieht mit Siegellack, mit welchem man die eine Seite des Brettchens überzieht, und dann den erhitzten Draht in dasselbe eindrückt. Zum Schluss erhält die Mitte der oberen längeren Seite eine Öse zum Aufhängen der ganzen Vorrichtung, und die Seite des Rechtecks, in welcher der Strom aufsteigt, wird zur Erkennung der Stromrichtung mit weissem Lack überzogen.

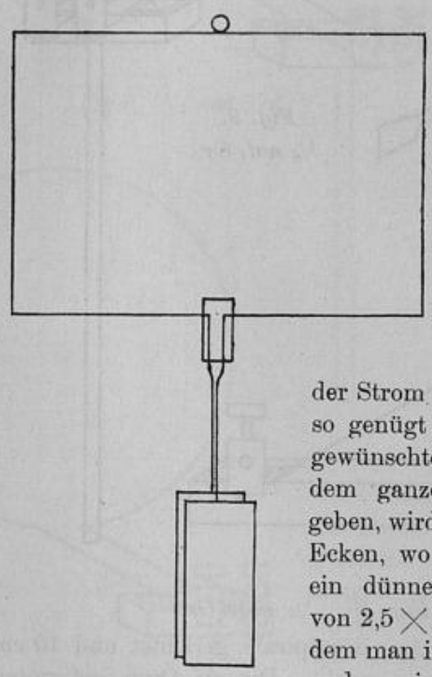

Fig. 11. ⅓ *nat. Gr.*

Beweglicher Kreis-Leiter. *Fig. 12.*

In ganz ähnlicher Weise wird der in *Fig. 12* dargestellte Kreisleiter konstruiert. Der Durchmesser des Kreises ist gleich 13 cm. Auch hier wird die Seite des aufsteigenden Stromes weiss lackiert.

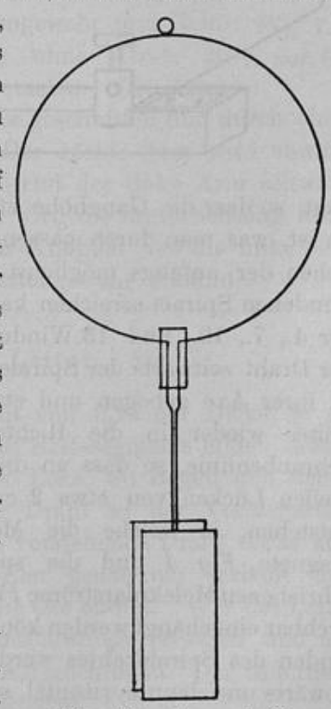

Fig. 12. ⅓ *nat. Gr.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Molekularströme. *Fig. 13.*

Der in *Fig. 13* in natürlicher Grösse gezeichnete Leiter figuriert als Molekularstrom und wird in vier Exemplaren aus Kupferdraht, Kupfer- und Zinkblech wie vorher angefertigt. Der Durchmesser des Kreises ist gleich 3,5 cm, die Länge der Zuleitungsdrähte 8 cm, die Grösse der Bleche 2 × 3,5 cm. Für Halt sorgt ein Wulst von Siegellack in etwa 1,5 cm Höhe über den Blechen. Ausserdem wird die Kreisfläche mit dünnem Papier überklebt, welches auf der Seite des Gegenzeigerstromes rot, auf der andern Seite grün bemalt wird, so dass die Bezeichnung des aufsteigenden Stromes mit weissem Lack fortfällt.

Bewegliches Solenoid I. *Fig. 14.*

Das Solenoid wird in der Weise hergestellt, dass ein Kupferdraht von 1 mm Dicke auf einem Rohr von 4,5 cm Weite, etwa einem Lampenzylinder, zu 8 Windungen aufgewunden und dann auf etwa 7 cm so ausgezogen wird, dass die Windungen gleichen Abstand von einander haben. Die Weite der Windungen wird durch die Elastizität des Drahtes etwa gleich 6 cm. Die Enden des Drahtes werden zuerst 1 cm abwärts und dann parallel zur Axe der Spirale gebogen, bis sie sich auf 0,5 cm genähert haben. Darauf werden sie wieder abwärts gebogen und erhalten 8 cm von der letzten Biegung je ein Kupfer- bezw. Zinkblech wie der Rechteckleiter *Fig. 11.* Auch die Befestigung des Haltebrettchens unterhalb der Spirale geschieht ebenso wie in *Fig. 11.* Ausserdem aber wird die Festigkeit der Spirale dadurch erhöht, dass unter die Gipfel der Windungen eine kleine Leiste von 1 cm Höhe und 7 cm Länge geschoben wird, welche 8 mit einer Feile hergestellte Einschnitte trägt, in welche die acht Windungen hineinpassen. Um das Ausspringen des Drahtes zu verhindern, wird dann noch eine Leiste von der halben Höhe auf die erste geleimt und schliesslich eine Öse aus Kupferdraht an der unteren Leiste befestigt. Die Richtung des Stromes wird hier auf zwei Weisen gekennzeichnet, indem erstens die Drähte auf der einen Seite des Solenoides, in welcher der Strom aufsteigt, weiss lackiert werden, und andrerseits dadurch, dass an den Enden der Spirale eine grüne und rote Pappscheibe von einem Durchmesser gleich dem der Spirale mit einer Heftzwecke auf der Stirnseite der Leisten befestigt werden, je nachdem der Zeigerstrom oder das Gegenteil angedeutet werden soll.

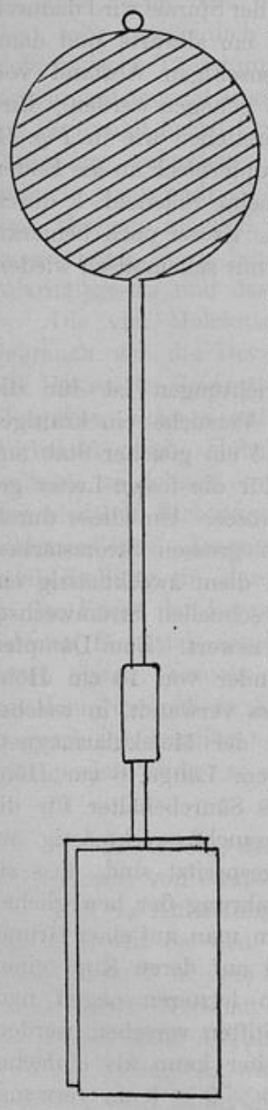

Fig. 13. Nat. Gr.

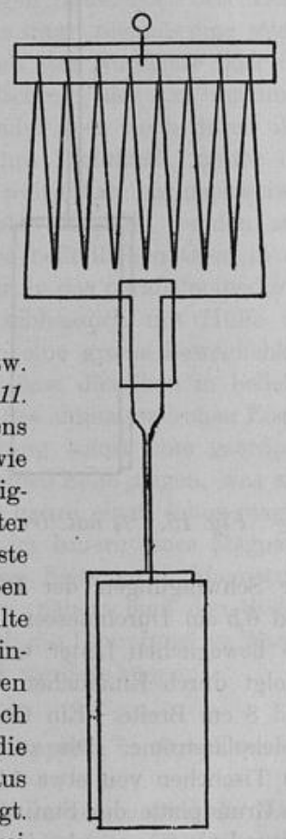

Fig. 14. 1/2 nat. Gr.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bewegliches Solenoid II. *Fig. 15.*

Das Solenoid II unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur durch die grössere Anzahl der Windungen und den geringeren Durchmesser desselben. Erstere beträgt ungefähr 70 und letzterer 2,3 cm. Die Spirale wird auf einem Rohr von etwa 2 cm Durchmesser aufgewunden und auf einer Leiste von 1 cm Höhe und 13 cm Länge, in deren Enden zwei Messingnägel geschlagen sind, so weit ausgezogen, dass die beiden äussersten Windungen über die Nägel fassen. Die Federkraft des Drahtes hält dann die Spirale in der gegebenen Lage und die Berührung der aufeinander folgenden Windungen wird vermieden. Der untere Teil der Spirale wird dadurch gestreckt, dass die Drahtenden erst 1 cm abwärts und dann parallel zur Axe bis auf einen gegenseitigen Abstand von 0,5 cm, und schliesslich wieder abwärts gebogen werden. Ihre Befestigung geschieht durch ein Haltebrettchen wie in *Fig. 11.* Ebenso werden hier ein Zink- und ein Kupferblech an die Enden gelötet. Die Stromrichtung wird wie beim Solenoid I durch Pappscheiben und weisse Farbe markiert. Es sei noch bemerkt. dass *Fig. 15* die Anzahl der Windungen nur schematisch wiedergiebt.

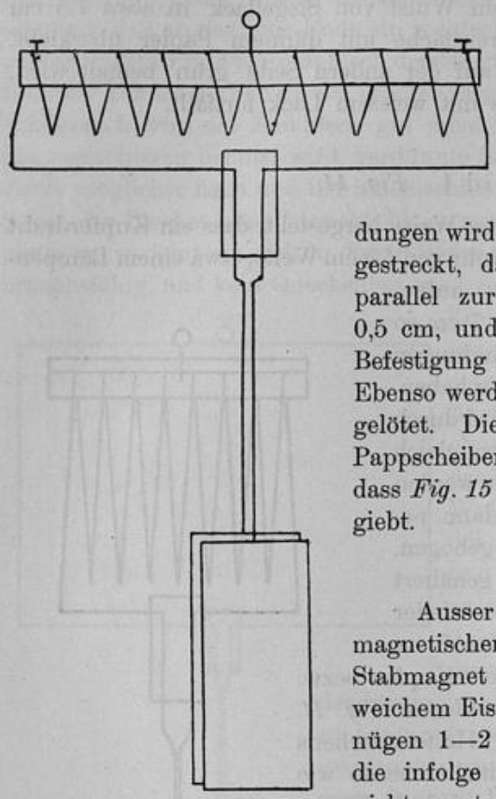

Fig. 15. $^1/_2$ *nat. Gr.*

Zubehör.

Ausser den beschriebenen Vorrichtungen ist für die magnetischen und elektromagnetischen Versuche ein kräftiger Stabmagnet von etwa 20 cm Länge und ein gleicher Stab aus weichem Eisen nötig. Als Stromquelle für die festen Leiter genügen 1—2 Akkumulatoren mittlerer Grösse. Um diese durch die infolge des geringen Widerstandes grossen Stromstärken nicht zu stark in Anspruch zu nehmen, dient zweckmässig ein Morsetaster als Stromschlüssel. Zum schnellen Stromwechsel ist ausserdem ein Kommutator wünschenswert. Zum Dämpfen der Schwingungen der Deklinationsnadel *Fig. 3* dient ein Fusszylinder von 14 cm Höhe und 6,5 cm Durchmeseer. Ein gleicher Zylinder wird als Säuregefäss verwandt, in welches die beweglichen Leiter tauchen. Die Dämpfung der Schwingungen der Molekularmagnete erfolgt durch Eintauchen der Endbleche in ein Glasgefäss von 15 cm Länge, 6 cm Höhe und 8 cm Breite. Ein Gefäss mit denselben Dimensionen dient als Säurebehälter für die Molekularströme. Die zuletzt genannten Gefässe werden beim Gebrauch zweckmässig auf ein Tischchen von etwa 11 cm Höhe gestellt, dessen Beine soweit gespreitzt sind, dass sie die Grundplatte des Stativs *Fig. 1* einschliessen können. Zur Aufbewahrung der beweglichen Leiter kann man sich ein besonderes Stativ aus Holz zimmern, indem man auf einer Grundplatte von 10 × 30 cm eine Säule von 30 cm Höhe errichtet und auf deren Kopf einen Horizontalbalken von 12 cm Länge festschraubt. Quer über den letzteren nagelt man 4 horizontale Leisten, welche an den Seiten mit einer Anzahl von Stiften versehen werden, an denen die verschiedenen Leiter aufgehängt werden können. Weiter kann als einfaches Stativ für die festen Leiter ein Holzbalken von den Dimensionen 30 × 9 × 9 cm verwandt werden, in den 5 Löcher zur Aufnahme der Haltedrähte der fünf Leiter gebohrt werden. Schliesslich dienen einige Holzklötze dazu, die Fusszylinder in verschiedene Höhen einzustellen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

II. Verwendung des Apparates.

Magnetische Versuche.

Mit dem Apparat lassen sich zuerst die meisten magnetischen Fundamentalversuche anstellen, indem man sich der Deklinationsnadel *Fig. 3* bedient, welche mittels der Öse an dem Häkchen des äussersten Seidenfaden des Stativs *Fig. 1* aufgehängt wird. Die unten befindliche Kupferplatte der Nadel taucht in das beschriebene zylindrische Gefäss, welches mit Wasser gefüllt ist. Man erreicht durch diese Anordnung eine so starke Dämpfung der Schwingungen der Nadel, dass die Einstellung der letzteren schneller erfolgt und ihre entgültige Lage präziser in die Augen springt, was für die Beobachtung des Schülers nicht zu unterschätzen ist. Ähnliches gilt für die Kenntlichmachung des Nordpoles. Die gewöhnliche Bezeichnung des Poles mit einer Farbe, lässt bei einer in horizontaler Ebene schwingenden Nadel, deren Grösse ja nicht sehr beträchtlich ist, ihre Stellung nicht sicher erkennen, weil ihre geringe Plastik leicht optische Täuschungenz ulässt, so dass z. B. der Pol, der links nach vorn zeigt, für links nach hinten zeigend angesehen wird u. s. w. Eine Pappscheibe dagegen in der oben beschriebenen Form und Farbe kann, wenn ausserdem das Polende eine Farbe trägt, niemals eine solche Täuschung aufkommen lassen, weil sie sofort erkennen lässt, ob das Nordende oder das Südende zugewandt ist. Ausserdem ist eine Erkennung in der Richtung der Axe nur durch diese Methode möglich. Zum Überfluss wird die Stellung der Nadel auch noch durch ihre geometrische Form bezeichnet. So lässt sich mit der Nadel ihre Richtkraft, weiter das Polaritätsgesetz und das Gesetz von der magnetischen Verteilung weit erkennbar nachweisen.

Die vier Molekularmagnete, von denen *Fig. 4* ein Exemplar darstellt, werden zum Gebrauch wie die Deklinationsnadel mit den an der Pappscheibe befindlichen Ösen in die vier Haken der Seidenfäden eingehängt, darauf mit den Endplatten in das parallelepipedische Glasgefäss, welches auf dem Tischchen steht, eingetaucht und schliesslich mit Hülfe der Wirbel in gleiche Höhe gestellt. Da die Magnete immerhin noch eine grosse Beweglichkeit besitzen, so gelingt es allerdings nicht den Zustand herzustellen, dass dieselben in beliebig verschiedenen Richtungen stehen bleiben und damit den Zustand des unmagnetischen Eisens dokumentieren. Dagegen nehmen dieselben infolge Wechselwirkung sofort eine geordnete axiale Stellung ein, derart, dass alle Pole derselben Art nach derselben Seite zeigen, was sich an der Farbe der Pappscheibe erkennen lässt.. Es stellt also das ganze einen schon magnetisierten Eisenstab dar. Aber auch so lassen sich die Vorgänge im Innern eines Magneten durch einige Versuche klarmachen. Nähert man z. B. der roten Seite einen Magnetstab mit dem Nordpol, so kehren sich sämtliche Molekularströme um, nähert man den Südpol so geschieht dasselbe noch einmal. Diese Vorgänge erhalten durch die Dämpfung im Wasser eine gewisse Ruhe, so dass sie desto besser vom Schüler verfolgt werden können.

Elektromagnetische Versuche.

Bei Anstellung der elektromagnetischen Versuche dient der Apparat in der Weise wie der Apparat von Ampère.

Um die Ablenkung der Nadel durch einen geradlinigen Strom zu zeigen wird die Nadel *Fig. 3* so wie bei den magnetischen Versuchen aufgehängt und gedämpft und darauf der Leiter *Figur 7* in dem Stativ *Fig. 5* so festgeklemmt, dass der geradlinige Teil horizontal im magnetischen Meridian über der Nadel dicht am Seidenfaden vorbei verläuft. Schickt man den Strom eines Akkumulators hintereinander durch einen Morsetaster, einen Stromwender und den Leiter, so wird die Nadel nach Osten bezw. Westen je nach der Stromrichtung abgelenkt und damit die Örstedsche Entdeckung vorgeführt.

Um die Regel von Ampère zu zeigen, bleibt die Nadel wie vorher hängen und es wird nun der Rechteckleiter *Fig. 6* so in das betreffende Stativ geklemmt, dass zunächst der obere

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

horizontale Teil die Nadel beeinflusst. Zur Kennzeichnung der Stromrichtung wird ausserdem der abgebildete Pfeil an diesen Teil geklemmt und in die Stromrichtung gedreht. Es ergeben sich bei Stromschluss in verschiedener Richtung die Resultate des vorigen Versuchs. Wird nun der Leiter so verstellt, dass er unter der Nadel verläuft, so folgen die entgegengesetzten Resultate der Ablenkung. Dann wird durch Höherstellen des Leiters dessen unterer Teil zur Wirkung veranlasst und die Ablenkungen der Nadel werden gemerkt. Die scheinbar regellose Beeinflussung der Nadel lässt sich leicht in die bekannte Regel von Ampère fassen, wenn man die obige Versuchsreihe wiederholt, nachdem der Pfeil mit der beschriebenen menschlichen Figur vertauscht ist. Es lässt sich dann weiter feststellen, dass die Nadel innerhalb der geschlossenen Bahn nach der einen Seite, ausserhalb derselben nach der anderen Seite bei unverändeter Stromrichtung zeigt.

Dass diese Thatsache für jeden geschlossenen Strom unabhängig von dessen Form gilt, zeigt sich, wenn nun der Kreisleiter *Fig. 8* mit dem Pfeil versehen im Stativ befestigt wird, und die in dessen Mittelpunkt aufgehängte Nadel Ablenkung erfährt. Wie auch aus dem vorigen Versuch ergiebt sich des weiteren der Schluss, dass die Richtung der ablenkenden Kraft des Stromes senkrecht zur Ebene desselben gestellt ist.

Die Unabhängigkeit der Lage des Stromes lässt sich bei Benutzung des Leiters *Fig. 9* erkennen, der einen rechteckigen Leiter in der Horizontalebene vorstellt, in den die Nadel *Fig. 2* so eingehängt wird, dass ihr Mittelpunkt ungefähr mit dem des Leiters zusammenfällt. In jeder beliebigen Stellung desselben wird bei Stromschluss ihr Nordpol je nach der Stromrichtung gehoben oder hinuntergedrückt, ein Vorgang, welcher sich durch taktmässiges Öffnen und Schliessen noch verstärken lässt.

Die Wirkung eines Stromes auf eine Nadel muss sich in verstärktem Masse bei mehreren Stromkreisen und mehreren Nadeln zeigen. Solche hintereinander geschaltete Stromkreise werden durch das Solenoid *Fig. 10* dargestellt. Dieses wird in dem Stativ *Fig. 5* über dem grossen Wassergefäss in passender Höhe befestigt und die 4 Molekularmagnete in die Lücken desselben eingehängt. Wird nun ein Strom durch das Solenoid geschickt und auf die 3 Drahtspitzen des letzteren je eine menschliche Figur wie oben im Sinne der Stromrichtung gesteckt, so zeigen alle roten Flächen der Molekularmagnete nach demselben Ende des Solenoides im Sinne des ausgestreckten Armes, wie die Regel von Ampère angiebt. Ersetzt man dagegen die menschlichen Figuren durch Pfeile, so ergiebt sich, dass dasjenige Ende, nach welchem die roten Flächen zeigen, vom Gegenzeigerstrom umflossen wird. Da nun die Summe der Molekularmagnete einen schwach magnetisierten Eisenstab vorstellen sollte, so folgt schon aus der lebhafteren Einstellung in die Axe bezw. Umkehr der Magnete bei Stromwechsel, dass hier eine Magnetisierung des Eisens durch den Strom auftritt. Wenn daher nun ein Stück weichen Eisens in das Solenoid geschoben wird, so zeigt sich dasselbe in gleicher Weise magnetisiert.

Die angeführte Reihe elektromagnetischer Versuche lässt aber auch eine Umkehrung insofern zu, als statt eines festen Leiters und beweglichen Magnets, der erstere beweglich gemacht wird und der letztere eine feste Stellung einnimmt. Als beweglicher Rechteckleiter dient zu diesem Zweck der in *Fig. 11* angegebene, welcher an dem äussersten Haken aufgehängt und mit der Doppelplatte in das kleine Gefäss eingetaucht wird, welches nun mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. Es lässt sich dann mit Hülfe eines Stabmagneten zeigen, dass alle Teile des Leiters Anziehung oder Abstossung erfahren. So z. B. dreht sich der Leiter im Sinne der Regel von Ampère, wenn der Magnet parallel über oder unter einem der horizontalen Teile des Leiters gehalten wird. Oder wird der Magnetenstab in beliebiger Richtung durch die Ebene des Leiters geschoben, so stellt er sich senkrecht zur Axe des ersteren.

Dasselbe geschieht mit dem Kreisleiter *Fig. 12*, der in ähnlicher Weise wie das Rechteck zu behandeln ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auch hier können nun mehrere Stromkreise hintereinander geschaltet in Form des Solenoides *Fig. 14* im verstärktem Masse entsprechende Wirkungen erzielen. Zu dem Zweck wird das Solenoid ebenso wie die beiden vorhergehenden Leiter aufgehängt und eingetaucht. Es lässt dann unter Einfluss eines Magneten Eigenschaften erkennen, die den vorher abgeleiteten Regeln entsprechen. Ausserdem aber findet man die Kraft hauptsächlich in den Enden konzentriert, die von den Polen des Magnetstabes kräftig angezogen oder abgestossen werden; kurz, das ganze gleicht einem Magneten, dessen Axe mit der Axe des Solenoides zusammenfällt, bezw. senkrecht zur Ebene jedes Stromkreises steht. Sobald nun das Solenoid sich selbst überlassen wird, zeigt es auch darin seine Übereinstimmung mit einem Magneten, dass es unter Einwirkung des Erdmagnetismus sich in den magnetischen Meridian einstellt.

Dieselben Versuche lassen sich auch mit dem Solenoid *Fig. 15* anstellen, welches in seiner Form noch mehr einem Stabmagneten ähnelt. Die Einwirkung des Erdmagnetismus zeigt sich hier allerdings nicht so gut wie vorher, da der Trägheitsmoment wegen der grösseren Masse gewachsen ist, und andrerseits das Drehungsmoment durch den geringeren Durchmesser der Kreisströme abgenommen hat.

Der Erdmagnetismus muss jedoch auch auf einen einzigen Kreisstrom seine Wirkung äussern, was sich auch ergiebt, wenn wieder der grosse Kreisstrom oder das Rechteck wie vorher aufgehängt und sich selbst überlassen werden. Die Ebene derselben steht dann senkrecht zum magnetischen Meridian, so dass der Strom im Westen aufsteigt, wie an der Stellung des weisslackierten Teiles zu erkennen ist. Dieser Versuch beweist aber weiter, dass ein Magnet durch einen Kreisstrom ersetzt werden kann, der vom Nordpol aus gesehen gegen den Sinn des Uhrzeigers kreist.

Also können auch die Molekularmagnete durch je einen Molekularkreisstrom ersetzt gedacht werden, von welchen der in *Fig. 13* dargestellte kleine Kreisstrom eine praktische Anschauung geben soll. Hängt man diese 4 Molekularströme in der Weise an den Seidenfäden auf, wie vorher die Molekularmagnete, mit der Abänderung, dass das Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird, so nehmen dieselben vorläufig keine bestimmte Stellung ein, da die Wirkung des Erdmagnetismus sowie ihre gegenseitige Beeinflussung zu gering ist, um sie zu richten. Hier wird also das in der That erreicht, was bei den Molekularmagneten, die sich gleich axial stellten, nicht angängig war, dass nämlich die Moleküle ungeordnet bleiben und damit eine Vorstellung von unmagnetischem Eisen geben. Sobald nun der Magnetstab z. B. mit dem Nordpol genähert wird, drehen sich die Ströme, bis sie demselben alle ihre grüne Seite, d. h. die des Zeigerstromes, zeigen; entsprechend zeigen sie die rote Seite bei Annäherung des Südpoles. Bei Entfernung des Magneten fallen sie in ihre alte Lage zurück. Damit ist der Vorgang der Influenz unter Voraussetzung von Molekularströmen deutlich erklärt. Denn dass die Summe von parallelen Kreisströmen einen Magneten darstellt lehrt der Vergleich mit dem Solenoid, welches ja aus solchen Parallelströmen besteht und magnetische Eigenschaften in den früheren Versuchen bewiesen hatte.

Elektrodynamische Versuche.

Wenn nun, wie aus den vorangegangenen Versuchen vorhergeht, ein Strom magnetische Eigenschaften besitzt, so müssen auch zwei von einander unabhängige Ströme motorische Wirkungen auf einander ausüben. Das geht im besonderen aus den letzten Versuchen, bei denen das Solenoid auf die Molekularströme wirkte, hervor. Der Vorgang wird jedoch klarer, wenn im folgenden Experiment vorläufig zwei geradlinige Ströme aufeinander wirken. Für diesen Fall wird das Rechteck *Fig. 6* in das Stativ geklemmt und das Rechteck *Fig. 11* an dem äussersten Haken aufgehängt und in die Säure getaucht. Darauf wird das feste Rechteck mit festgeklemmtem Zeiger dem beweglichen Rechteck, welches sich in den Meridian ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stellt hat, so genähert, dass zwei Vertikalseiten in einer Entfernung von 2—3 cm parallel laufen. Bei Stromschluss erfolgt Anziehung resp. Abstossung, bei Stromwechsel das entgegengesetzte. Dann wird das Experiment an der anderen Vertikalseite des beweglichen Leiters mit umgekehrten Resultaten wiederholt. Die gegenseitige Richtung der Ströme lässt sich an der Stellung des Zeigers im Vergleich mit der Markierung des aufsteigenden Stromes durch weisse Farbe bequem verfolgen. Es ergiebt sich dann das bekannte Gesetz von der Anziehung und Abstossung paralleler Ströme.

Das Verhalten gekreuzter Ströme lässt sich an demselben beweglichen Leiter in Verbindung mit dem festen Leiter *Fig. 7* oder *Fig. 9* in entsprechender Weise demonstrieren. In diesem Falle wirkt vom beweglichen Leiter die obere Horizontalseite auf den horizontalen Teil des festen Leiters.

Man kann nun auch sämtliche Teile der beiden Leiter *Fig. 6* und *Fig. 11* auf einander wirken lassen, wenn der feste Leiter so über den beweglichen geschoben wird, dass ihre vertikalen Symmetrieaxen zusammen fallen. Dann suchen je zwei Vertikalseiten gleicher Stromrichtung sich zu nähern, entgegengesetzter Richtung sich zu entfernen, anderseits die gekreuzten Horizontalseiten sich parallel und gleichgerichtet zu stellen, mit dem Resultat, dass die Leiter in eine Ebene fallen und ihre Ströme gleichgerichtet sind, oder, wenn ihre Symmetrieaxen nur parallel sind, sich auch nur parallel und gleichgerichtet stellen.

Dies geschieht bei jedem geschlossenen Leiter, also auch, wenn sich der feste und bewegliche Kreisleiter *Fig. 8* bezw. *Fig. 12* gegenüberstehen, die experimentell wie die Rechtecke behandelt werden. Diese Resultate stimmen aber mit dem überein, was sich aus dem Versuch mit dem festen Solenoid und den Molekularströmen ergab.

Um zum Schluss den Vergleich zwischen Magnet und Solenoid noch weiter zu verfolgen, wird in den folgenden Experimenten der früher gebrauchte Magnet durch ein Solenoid ersetzt. Es zeigen sich dann die Gesetze in zweierlei Weise bewiesen, sei es, dass man dieselben so zu sagen im magnetischen Gewande, sei es im elektrischen Gewande rezitiert. So bestätigt sich aufs Neue die Regel von Ampère, wenn der gradlinige Leiter, das feste Rechteck und der feste Kreis nacheinander auf das bewegliche Solenoid einwirken. Dasselbe folgt bei Verwendung des festen Solenoid in Verbindung mit dem beweglichen Rechteck und dem beweglichen Kreise. Schliesslich wirken das feste und das bewegliche Solenoid wie zwei Magnete aufeinander.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stellt hat, so genähert, das nung von 2—3 cm parallel laufen. Bei Stromschluss er i Stromwechsel das entgegengesetzte. Dann wird das E ite des beweglichen Leiters mit umgekehrten Resultaten ng der Ströme lässt sich an der Stellung des Zeigers im aufsteigenden Stromes durch weisse Farbe bequem verfol kannte Gesetz von der Anziehung und Abstossung pa

Das Verhalten gekreuz beweglichen Leiter in Verbindung mit dem festen Lei ender Weise demonstrieren. In diesem Falle wirkt vom l alseite auf den horizontalen Teil des festen Leiters.

Man kann nun auch s 6 und *Fig. 11* auf einander wirken lassen, wenn der fes geschoben wird, dass ihre vertikalen Symmetrieaxen z zwei Vertikalseiten gleicher Stromrichtung sich zu näher zu entfernen, anderseits die gekreuzten Horizontalseiten stellen, mit dem Resultat, dass die Leiter in eine Eber htet sind, oder, wenn ihre Symmetrieaxen nur parallel ichgerichtet stellen.

Dies geschieht bei jed , wenn sich der feste und bewegliche Kreisleiter *Fig.* die experimentell wie die Rechtecke behandelt werden. dem überein, was sich aus dem Versuch mit dem fester n ergab.

Um zum Schluss den V id noch weiter zu verfolgen, wird in den folgenden Exper t durch ein Solenoid ersetzt. Es zeigen sich dann die Ges i es, dass man dieselben so zu sagen im magnetischen G ande rezitiert. So bestätigt sich aufs Neue die Regel v ter, das feste Rechteck und der feste Kreis nacheinande wirken. Dasselbe folgt bei Verwendung des festen Sole glichen Rechteck und dem beweglichen Kreise. Schlies wegliche Solenoid wie zwei Magnete aufeinander.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf