

Die Natur des Magnetismus.

Von

Prof. Dr. Gustav Jäger.

Vortrag, gehalten den 20. Dezember 1916.

Mit 6 Figuren im Texte.

Gewisse Eisenerze sind imstande, kleine Eisenstücke, welche sich in ihrer Nähe befinden, anzuziehen und mit einer bestimmten Kraft festzuhalten. Man nennt sie Magneteisensteine oder natürliche Magnete.

Man kann auch künstliche Magnete herstellen, die den Vorteil beliebiger Gestalt und infolgedessen leichter Handhabung besitzen. Man pflegt sie gewöhnlich in gestreckter Form als Stäbe, Nadeln oder in Hufeisenform zu erzeugen.

Legen wir einen Magneten in Eisenfeilspäne, so daß seine ganze Oberfläche davon bedeckt wird, so zeigt sich beim Herausziehen, daß nur gewisse Stellen stark magnetisch, andere wieder völlig unmagnetisch sind.

Man stellt die künstlichen Magnete gewöhnlich so her, daß sie die stark magnetischen Stellen an ihren Enden besitzen. Hängen wir einen solchen Magnetstab an einem Faden so auf, daß er selbst horizontal ist, sich aber um eine vertikale Achse leicht bewegen kann, oder lassen wir eine Magnetnadel auf einer Stahlspitze, so wie es beim Kompaß der Fall ist, um eine vertikale Achse drehbar schweben, so zeigt sich, daß diese Magnete eine bestimmte Lage

annehmen. Die Richtung ihrer Längsachse fällt ungefähr mit der Nord-Südrichtung zusammen. Geben wir der Magnetnadel einen seitlichen Stoß, so dreht sie sich nicht wie ein unmagnetischer Körper nach einer Richtung fort, bis sie infolge des Widerstandes zur Ruhe kommt, sondern wenn sie anfänglich etwa ganze Umdrehungen vollführt, so geht sie nach erfolgter Dämpfung in Schwingungen über, die allmählich erlöschen, und die Ruhelage ist dann wieder die alte, nämlich die bereits erwähnte Nord-Südrichtung. Dabei ist immer dasselbe Ende der Nadel gegen Norden gerichtet. Wir nennen es den Nordpol, das entgegengesetzte Ende den Südpol. Ganz ebenso finden wir bei unserm Stabe ein Nord- und ein Südeude oder, wie wir bereits erwähnt haben, einen Nord- und einen Südpol.

Die Pole der Magnete üben verschiedene Kraftwirkungen auf einander aus. Wir nehmen den Magnetstab in die Hand und nähern seinen Nordpol dem Nordpol der Nadel. Die Nadel bewegt sich, aber auffallenderweise nicht so, als man von vornherein erwarten sollte. Der Nordpol der Nadel wird nicht angezogen, sondern abgestossen. Nähern wir denselben Pol des Stabes aber dem Südpol der Nadel, so wird dieser angezogen. Wir kehren den Stab jetzt um, nähern seinen Südpol dem Nordpol der Nadel, er wird angezogen. Nähern wir ihn dem Südpol, so wird dieser abgestossen. Wir finden also folgende Regel: Der Nordpol stößt den Nordpol ab und zieht

den Südpol an; der Südpol stößt den Südpol ab und zieht den Nordpol an. Wir können sagen: Gleichnamige Pole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Diese Erscheinungen führen auf die Vorstellung von zwei Arten des Magnetismus, den Nord- und den Südmagnetismus, die man etwa als zwei Stoffe entgegengesetzter Eigenschaft auffassen könnte, ähnlich wie man es bei der positiven und negativen Elektrizität tut. Wir wissen, daß man diese Elektrizitäten voneinander trennen und auf verschiedenen Körpern ansammeln kann, so daß wir von positiv oder negativ geladenen Körpern reden können.

Besitzt ein Magnet an einem Ende einen Nord-, am andern einen Südpol, während er dazwischen unmagnetisch ist, so könnte dies den Anschein erwecken, als brauche man den Stab nur in der Mitte durchzuschneiden, um den Nord- und Südmagnetismus getrennt zu erhalten. Macht man den Versuch wirklich, so zeigt sich jedoch etwas ganz anderes. Jedes der beiden Stabstücke ist nämlich bei der Trennung zu einem Magnet mit zwei entgegengesetzten Polen geworden. Die ursprünglichen Pole sind geblieben, dazu kommen aber neue Pole an jenen Enden, welche früher in der Mitte des Stabes vereinigt waren. Man kann diese Magnete neuerdings zerschneiden und findet dasselbe Resultat. Wir müssen also die Annahme zweier verschiedener magnetischer Stoffe fallen lassen. Wir gelangen zur Anschauung, daß jeder

Magnet aus einer großen Anzahl kleiner Magnete zusammengesetzt ist. Ja es hindert uns nichts, die Sache so aufzufassen, als wäre jede Molekel des Magneten ein kleiner Magnet für sich. Denken wir uns zwei vollständig gleiche Stabmagnete so aneinander gelegt, daß der Südpol des einen mit dem Nordpol des andern zusammenstößt (Fig. 1), so werden diese beiden Pole auf den Pol einer Magnetnadel gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte ausüben, die sich also in ihrer Wirkung aufheben müssen. Die Mitte unseres neuen Magnetstabes

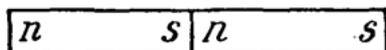


Fig 1.

erscheint unmagnetisch, nur die beiden Enden erweisen sich magnetisch.

Auf diese Weise können wir jeden Magneten uns aus sehr kleinen Magneten aufgebaut denken, so daß nur bestimmte Stellen, die Pole, magnetisch erscheinen, während jene Stellen, wo gleich starke Nord- und Südpole zusammenstoßen, sich in ihrer Wirkung nach außen aufheben, d. h. unmagnetisch sind.

Lassen wir ein kleines Stück Weicheisen von einem Magnetpol anziehen, so erweist sich dieses Eisenstück, so lange es sich am Magneten befindet, selbst als ein Magnet. Wir können an dieses ein weiteres kleines Eisenstück hängen, auch dieses wird, allerdings in schwächerem Maße, zu einem Magneten. Und so läßt sich dieses Verfahren noch weiter fortsetzen. Entfernen wir aber das Eisen vom Magneten,

so wird es wieder unmagnetisch. Wir brauchen bei diesem Versuche das Eisen jedoch nicht mit dem Magneten in Berührung zu bringen. Es genügt schon, wenn wir es in die Nähe des Magneten bringen, um es selbst zu einem Magneten zu machen. Man pflegt diesen Vorgang Magnetisieren durch Induktion oder kurz magnetische Induktion zu nennen.

Die Magnetisierung eines Stückes Eisen in der Nähe eines Magneten stellen wir uns nun so vor, daß das Eisen aus einer großen Anzahl von Magneten besteht, die wir wegen ihrer Kleinheit Elementarmagnete nennen wollen. Diese Elementarmagnete haben wir uns als völlig ungeordnet vorzustellen, weshalb sie sich in ihrer Wirkung nach außen aufheben. Kommt nun ein Magnet in die Nähe, so werden die Elementarmagnete gerichtet. Die Nordpole werden nach der einen, die Südpole nach der entgegengesetzten Seite gezogen, so daß das Eisenstück auf der einen Seite einen Nord-, auf der andern einen Südpol erhält, also selbst zum Magneten wird. Nehmen wir den Magneten weg, so lagern sich die Elementarmagnete des Eisens wieder wirt durcheinander, der Magnetismus verschwindet.

Analog wie Eisen verhält sich in der Nähe von Magneten auch Stahl, nur mit dem Unterschied, daß die Elementarmagnete dauernd geordnet bleiben, auch wenn wir den einwirkenden Magneten entfernen. Das Stahlstück wird so zu einem künstlichen Magneten. Führt man einen starken Magnetpol über einen Stahl-

stab der Länge nach hinweg, so können wir alle Elementarmagnete des Stahlstabes gleichrichten und auf diese Weise größere künstliche Magnete erzeugen.

Legen wir auf einen Magneten ein steifes Papierblatt und streuen auf dieses Eisenfeilspäne, so wird jedes Eisenteilchen zum Magneten werden. Erschüttern wir das Papierblatt, so hängen sich die Feilspäne mit ihren ungleichnamigen Polen aneinander und bilden ganze Ketten und Linien, die uns gleichzeitig die Richtung angeben, in welcher die magnetische Kraft wirkt. Man nennt sie deshalb magnetische Kraftlinien. Einen mit magnetischen Kraftlinien erfüllten Raum nennen wir ein magnetisches Feld.

Im Jahre 1820 machte Oerstedt folgenden Versuch. Er führte über eine bewegliche Magnetnadel einen Draht in der Richtung Nord-Süd. Wurde dieser von einem elektrischen Strom durchflossen, so erfuhr die Magnetnadel eine Ablenkung. Ampère stellte dafür folgende Regel auf: Denken wir uns im elektrischen Strom schwimmend, indem die Stromrichtung von den Füßen zum Kopf geht, und kehren wir das Gesicht der Magnetnadel zu, so wird der Nordpol der Nadel zur linken Hand abgelenkt.

Es wirken also in der Umgebung des Stromes magnetische Kräfte. Mit Hilfe der früher besprochenen Methode können wir die magnetischen Kraftlinien des Stromes veranschaulichen. Wir lassen einen Draht

etwa senkrecht durch ein horizontales Kartenblatt gehen und bestreuen die Umgebung des Drahtes mit Eisenfeilspänen. Geht nun ein starker Strom durch den Draht, so ordnen sich die Eisenfeilspäne durch leichte Erschütterungen des Kartenblattes in Form konzentrischer Kreise um den Draht an. Die Kraftlinien eines geradlinigen Stromes sind also Kreise, deren Ebenen senkrecht zum Stromleiter stehen.

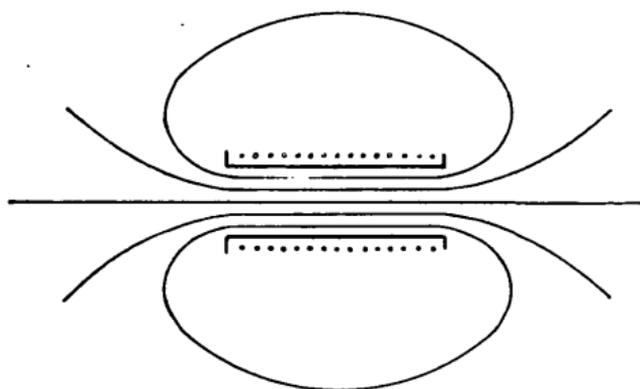


Fig. 2.

Verbiegen wir den Leiter, so ändert sich natürlich auch die Form der Kraftlinien. Ein besonders interessanter Fall ist das magnetische Feld einer Drahtspule oder eines Solenoids. Denken wir uns auf einen Hohlzylinder aus steifem Papier oder Holz einen isolierten Draht aufgewickelt, so erzeugt ein Strom, der den Draht durchfließt, im Innern des Zylinders ein starkes magnetisches Feld, dessen Kraftlinien parallel zur Zylinderachse sind. Außerhalb des Zylinders verlaufen sie derart, wie Fig. 2 zeigt, die einen Quer-

schnitt des mit Draht umwickelten Zylinders darstellt. Wir können also sagen: Die Kraftlinien treten auf der einen Seite, etwa der linken in den Zylinder ein, auf der andern aus. Die rechte Seite würde also wirken wie der Nordpol eines Magnetstabes, die linke wie der Südpol. Überhaupt ähnelt das ganze magnetische Feld außerhalb des Zylinders sehr dem Feld eines Magnetstabes von gleicher Größe wie der Hohlraum der Drahtspule.

Bringen wir in die Nähe des Zylinders ein Stück Eisen, so wird es genau so angezogen wie von einem Magneten und wird selbst zu einem Magneten. Haben wir etwa einen zylindrischen Eisenstab von kleinerem Querschnitt als jenem des Zylinders, so kann er direkt in den Zylinder hineingezogen werden. Er erweist sich dann als ein besonders kräftiger Magnet. Wir nennen ihn einen Elektromagneten.

Diese Erscheinung bewog Ampère, auch bei permanenten Magneten elektrische Ströme als die Ursache des Magnetismus anzusehen. Er nahm an, daß jede Eisenmolekel beständig von einem elektrischen Strom umkreist wird, den er Molekularstrom nannte. Wenn somit ein Stück Eisen magnetisiert wird, so brauchen wir nicht anzunehmen, daß die Eisenmolekeln in eine bestimmte Richtung gebracht werden, sondern daß die Achsen unserer Molekularströme gleich gerichtet werden, und der Unterschied zwischen weichem Eisen und Stahl ist der, daß nach Aufhören der magnetischen Kraft im weichen Eisen

auch die Ebenen der Molekularströme wieder alle möglichen Lagen annehmen, während sie im Stahl ihre Lage fix beibehalten und so einen permanenten Magneten erzeugen.

Zum Verständnis des Weiteren müssen wir auf einige Sätze der Mechanik zurückgreifen. Wir wissen, daß ein Körper, der sich vollständig kraftfrei bewegt, eine geradlinige Bahn und konstante Geschwindigkeit besitzt. Zur Änderung der Größe als auch der Richtung der Geschwindigkeit bedarf es immer einer Kraft, welche auf den Körper einwirkt.

Soll ein Körper eine Kreisbahn beschreiben, wie es etwa der Fall ist, wenn wir einen Stein an einer Schnur im Kreis bewegen, so muß auf ihn beständig eine Kraft wirken, welche den Körper aus seiner Richtung bringt, und zwar ist das eine Kraft, die nach dem Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist. Nach dem Satz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung muß aber der Körper eine gleich große Gegenkraft ausüben, die wir die Fliehkraft nennen. In unserm gegebenen Fall zieht der Stein mit derselben Kraft an der Schnur nach außen als unsere Hand nach innen.

Infolge der Fliehkraft suchen sich die einzelnen Punkte eines rotierenden Körpers so einzustellen, daß sie möglichst weit von der Rotationsachse entfernt sind. Hängen wir z. B. einen Metallring an einem Faden auf, den wir in Drehung versetzen, so bleibt der Faden nicht senkrecht, auch die Ebene

des Ringes bleibt nicht senkrecht, denn die einzelnen Punkte des Ringes sind am weitesten von der Drehachse entfernt, wenn die Ebene des Ringes senkrecht zur Rotationsachse steht. Tatsächlich stellt sich ein solcher Ring horizontal, während der Aufhängefaden einen Kegel beschreibt, dessen Grundfläche durch den Ring dargestellt wird.

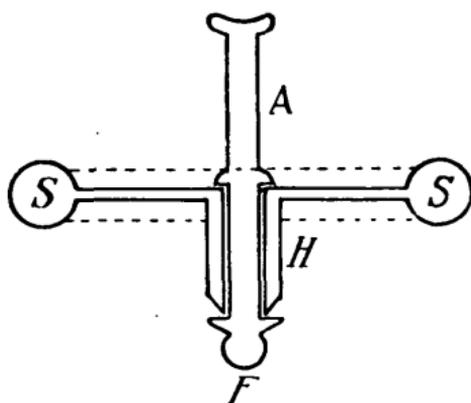


Fig. 3.

Für den ersten Anblick ganz merkwürdige Erscheinungen treten bei Rotationskörpern auf, welche in einem Punkt der Rotationsachse unterstützt sind. Diese Erscheinungen lassen sich sehr bequem an Kreiseln studieren. Wir denken uns einen ganz bestimmten Fall. Unser Kreisel (Fig. 3) bestehe aus einer Achse A mit einem kugelförmigen Fußende F und der Kreiselscheibe S . Die Hülse H sitzt nur lose auf der Achse, so daß sie mit geringer Reibung drehbar ist. Fest damit verbunden ist die Scheibe S . Um den Kreisel in Bewegung zu setzen, umwickelt

man die Hülse mit einer Schnur, faßt mit einer Hand die Achse A und zieht mit der andern die Schnur ab. Während also die Kreiselscheibe rasch rotiert, braucht sich die Achse gar nicht zu drehen.

Wir können demnach mit einem solchen Kreisel folgenden Versuch machen. Wir legen den rotierenden

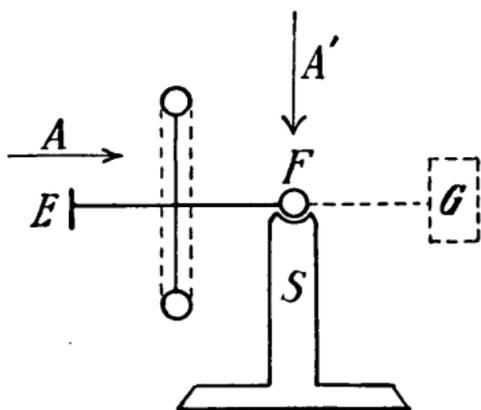


Fig. 4.

Kreisel mit seinem Fußende F (Fig. 4) auf ein oben kugelförmig ausgehöhltes Stativ S . Infolge der Schwerkraft müßte der Kreisel einfach herunterfallen. In Wirklichkeit tut er es aber nicht, sondern er bleibt horizontal, dreht sich aber dabei mit konstanter Geschwindigkeit um das Stativ. Diese Drehgeschwindigkeit ist um so kleiner, je rascher sich der Kreisel um seine eigene Achse dreht. Der Sinn der Bewegung ist dabei folgender. Sehen wir von links in der Pfeilrichtung A (Fig. 4) auf die Kreiselscheibe und zeigt sich, daß diese eine Drehung im Sinne der Uhrzeigerbewegung macht, so dreht sich der Kreisel,

von oben in der Pfeilrichtung A' betrachtet, ebenfalls im Sinne der Uhrzeigerbewegung um das Stativ S . Ist die Bewegung der Kreiselscheibe um die eigene Achse entgegengesetzt, so ist es auch die Bewegung um die Stativachse.

Die Erklärung dafür, daß der Kreisel vom Stativ nicht herunterfällt, sondern, so lange sich die Drehgeschwindigkeit um seine Achse nicht wesentlich ändert, er immer in derselben Höhe sich schwebend erhält, ist nicht schwer zu finden. Verfolgen wir nämlich die Bewegung, welche die auf- und abgehenden Punkte des Kreiselrandes



Fig. 5.

henden Punkte des Kreiselrandes machen, während der ganze Kreisel sich um eine kleine Strecke nach abwärts bewegt, so sehen wir, daß die genannten Kreiselpunkte gekrümmte Bahnen beschreiben, welche Fliehkräfte von der Art wecken, daß der Kreisel die beobachtete Horizontaldrehung machen muß.

Das freie Ende E der Kreiselachse macht also folgende Bewegung. Wenn wir den Kreisel auslassen, so beginnt der Punkt E sich zu senken. Dadurch erfährt er sofort eine Kraft, die ihn horizontal vorzutreiben sucht. Sobald er dieser Kraft folgt, wird aus demselben Grund wie früher eine Kraft nach aufwärts geweckt, die den Kreisel wieder hebt, so daß er die ursprüngliche Höhe erreicht. Der Punkt E hat also dabei einen Weg beschrieben, der einem Halbkreis ähnelt. Nun wiederholt sich dieselbe Be-

wegung, so daß die Bahn von E eine Gestalt besitzt, wie sie Fig. 5 zeigt.

Je rascher sich der Kreisel um die eigene Achse dreht, desto kleiner werden die einzelnen Bogenstücke der Bahn, so daß bei einem rasch rotierenden Kreisel man die Hebungen und Senkungen der Kreiselachse gar nicht merkt, sondern nur die vorwärtsgelende Bewegung.

Wenn wir uns die Kreiselachse über den Unterstützungspunkt hinaus verlängert denken und den Kreisel durch ein Gegengewicht G (Fig. 4) ins Gleichgewicht bringen, so fällt die Ursache einer fortschreitenden Bewegung des Punktes E weg. In der Tat ändert ein solcher Kreisel seine Lage nicht. Versetzen wir ihm einen seitlichen Schlag, so wird der Punkt E zuerst der Richtung des Schlages nachgeben müssen.

So wie er sich aber bewegt, greift nach den obigen Überlegungen eine Kraft senkrecht zu seiner Bahn an. Das hat zur Folge, daß der Punkt E nicht einfach der Richtung des Schlages folgen kann, sondern er beschreibt einen kleinen Kreis. Ist der Schlag nicht sehr heftig, so kann diese geschlossene Bahn so klein ausfallen, daß man sie gar nicht merkt.

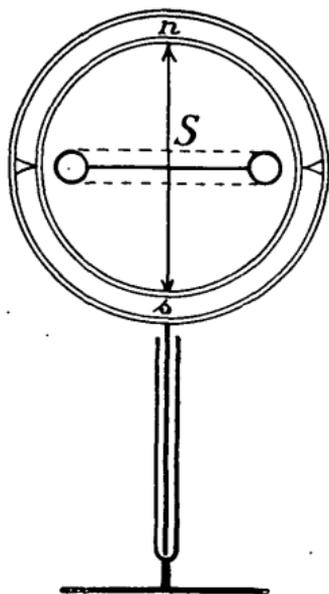


Fig. 6.

Daß heißt also: Kleine, kurz andauernde Kräfte werden die Kreiselachse nicht aus ihrer Richtung bringen können. Wir sprechen von einer sogenannten freien Achse.

Denken wir uns einen Ring (Fig. 6), der leicht um eine vertikale Achse drehbar ist. In diesem befinde sich ein zweiter, der auf Spitzen um eine horizontale Achse beweglich ist. In diesem ist ein Kreisel angebracht, dessen Achse senkrecht zur Drehachse des ihn tragenden Ringes ist. Die Achse eines solchen Kreisels kann ungehindert jede beliebige Richtung annehmen. Setzen wir den Kreisel in Bewegung, so wird seine Achse immer dieselbe Richtung beibehalten. Wir können den Kreisel, wenn wir ihn an seinem Fuße ergreifen, beliebig von einem Ort zu einem andern tragen, ohne daß die Richtung der Kreiselachse dabei geändert wird. Es werden sich die Aufhängeringe immer so drehen, daß die Kreiselachse ihre Richtung beibehält. Klemmen wir aber den äußeren Ring im Träger fest und bewegen den ganzen Apparat auf einer horizontalen Kreislinie von beliebigem Durchmesser, so stellt sich die Kreiselachse sofort vertikal. Es geschieht dies aus den früher erörterten Gründen. Die gekennzeichnete Bewegung sucht ja der Kreiselachse eine Verdrehung in horizontaler Ebene zu geben, sie antwortet sofort mit einer Drehung in vertikaler Ebene. Wir können auch so sagen: Die Kreiselachse stellt sich immer zur Drehachse parallel, um die wir den Kreisel zu bewegen suchen.

Jeder Körper auf unserer Erde macht in 24 Stunden eine volle Umdrehung der Erde mit. Haben wir somit einen sehr empfindlich aufgehängten Kreisel, so muß sich seine Achse in die Richtung der Erdachse stellen, was tatsächlich der Fall ist. Diese Eigenschaft des Kreisels wird ja praktisch direkt zu Kompaßzwecken benützt.

Hätten wir eine beliebige Zahl von Kreiseln in obigem Sinn beweglich in einem Zylinder angebracht, so würden sich beim Drehen des Zylinders um seine eigene Achse alle Kreiselachsen der Zylinderachse parallel stellen. Es wären alle Kreisel gleichgerichtet. Würden wir umgekehrt durch äußere Kräfte, die parallel zur Zylinderachse wirken, alle Kreiselachsen gleich richten wollen, so würden die Kreisel diesen Kräften nicht in der beabsichtigten Richtung folgen, sondern sie würden wie ein Kiesel unter dem Einfluß der Schwerkraft eine Drehung beschreiben, welche um eine Achse parallel zur Zylinderachse erfolgt, und so den ganzen Zylinder in Rotation um seine Achse versetzen.

Nach dieser Erörterung können wir wieder zu unserem eigentlichen Gegenstand zurückkehren. Wir haben bereits gehört, daß wir uns den Magnetismus durch elektrische Molekularströme verursacht denken. Die neuere Physik faßt die Elektrizität als eine Substanz auf, welche wie die Materie nicht ins Unendliche teilbar ist. Man nennt die kleinsten nicht mehr teilbaren Elektrizitätsmengen Elektronen. Ich

habe über die Elektronen in den Vorträgen des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse zu wiederholtenmalen ausführlich gesprochen. Ich will nur wiederholen, daß sich die Elektronen wie kleine Körperchen von bestimmter Masse verhalten. Ein Molekularstrom, der etwa um eine Eisenmolekel kreist, kann selbst als ein Massenring aufgefaßt werden, der dieselben Eigenschaften zeigt wie ein Kreisel. Gleichzeitig hat so ein Elementarstrom die Eigenschaften eines Magneten, wir können ihn ja als ein kleines Solenoid betrachten. Die Molekularströme werden somit von anderen magnetischen Kräften beeinflußt werden, werden dabei aber Bewegungen machen wie Kreisel, deren Achse wir aus ihrer Richtung bringen wollen. Andererseits werden die Molekularströme in einem rotierenden unmagnetischen Eisenstab das Bestreben haben, sich gleich zu richten, d. h. das Eisen zu magnetisieren. Diese Schlüsse wurden bereits von J. Cl. Maxwell gezogen.

Wir können den Kreisel in Fig. 6 als Modell eines Molekularstromes ansehen, wenn wir die Stahlachse *S* magnetisieren, etwa so, daß bei *n* ein Nord-, bei *s* ein Südpol entsteht. Stellen wir die Kreiselachse horizontal und suchen sie durch Drehen des äußeren Ringes in der Horizontalebene zu verdrehen, so wird sie sich sofort senkrecht aufstellen. Dasselbe werden also auch die Molekularströme eines zylindrischen Eisenstabes tun, den wir um seine Achse ro-

tieren lassen. Aus dem Verhältnis von Elektrizitätsmenge zur Masse eines Elektrons folgt allerdings eine sehr kleine Wirkung. Nichtsdestoweniger ist es S. J. Barnett gelungen, den experimentellen Nachweis der Magnetisierung eines Eisenzylinders durch Rotation zu erbringen.

Stellen wir unser Modell (Fig. 6) mit horizontal gestellter Kreiselachse auf einen Magnetpol, so sucht dieser den gleichnamigen Pol des Kreisels abzustößen, den ungleichnamigen anzuziehen, d. h. er sucht die Kreiselachse vertikal zu stellen. Wir wissen aber, daß die Kreiselachse dieser drehenden Kraft nicht folgt, sondern eine Drehung mit konstanter Geschwindigkeit in der Horizontalebene macht, was wir an unserm Modell tatsächlich beobachten können.

Wir können diesen Versuch wieder auf die Molekularströme anwenden. Wir denken uns einen Eisenzylinder an einem dünnen Faden so aufgehängt, daß seine Achse vertikal ist. Den Zylinder umgeben wir mit einem Solenoid, jedoch so, daß der Zylinder das Solenoid nicht berührt, sich also in diesem ungehindert drehen kann. Wird das Solenoid vom Strom durchflossen, so erzeugt es ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien parallel zur Achse des Zylinders gehen. Diese suchen also die Achse der Molekularströme parallel zur Zylinderachse zu richten, was jedoch nicht gelingen kann, da alle Molekularströme Drehungen um Achsen parallel zur Zylinderachse

machen werden. Der Zylinder selbst muß dadurch in Drehung versetzt werden.

Auch diese Folgerung ist experimentell bestätigt worden, u. zw. von Einstein und De Haas. Da wiederum die Rechnung ergab, daß der zu erwartende Effekt sehr klein ausfallen muß, so konnte er auch nur durch sinnreiche Versuchsanordnungen nachgewiesen werden.

Man konnte nicht erwarten, daß ein Eisenzylinder auch bei möglichst empfindlicher Aufhängung durch Magnetisierung wirklich in Rotation kommt. Man wählte daher folgende Versuchsanordnung. Ein „zylindrisches Stäbchen aus weichem Eisen von 7 cm Länge und 1·8 mm Durchmesser hing in dem vertikalen magnetischen Wechselfeld, welches durch zwei gleich beschaffene Spulen erzeugt wurde“. „Das Stäbchen hing zentrisch an einem Glasfaden“, dessen Länge veränderlich war. Dadurch konnte die Zahl der Dreh-schwingungen, welche das Stäbchen infolge seiner elastischen Aufhängung macht, beliebig verändert und gleichgemacht werden der Schwingungszahl des Wechselstromes. In letzterem Fall muß nämlich das Stäbchen, falls es wirklich bei jeder Ummagnetisierung auch eine Drehung in entgegengesetzter Richtung erfährt, in freies Mitschwingen geraten und immer größere Ausschläge machen. Auf diese Weise läßt sich eine nachweisbare Schwingungsweite des Stäbchens erzielen, welche durch Spiegelablesung gemessen wird.

Zwecks der Spiegelablesung wurde, wie schon erwähnt, nicht eine Magnetisierungsspule benützt,

sondern zwei, die aber wie eine wirkten. Durch den geringen Abstand, den sie voneinander besaßen, war es möglich, einen Lichtstrahl auf ein Spiegelchen, das an der Mitte des schwingenden Stäbchens angebracht war, zu leiten und den reflektierten Strahl, der die Schwingungen des Stäbchens mitmacht, auf einer Skala aufzufangen, an der die Ausschläge des Stäbchens abgelesen werden konnten.

Wichtig bei der Versuchsanordnung ist die Ausschaltung aller störenden Nebenwirkungen. Wir wollen nur eine erwähnen, d. i. die Wirkung eines permanenten magnetischen Feldes, z. B. des Erdfeldes auf die Drehung des Stäbchens, wenn die Drehachse mit der magnetischen Achse nicht vollkommen übereinstimmt. Es können auf diese Weise Schwingungen entstehen, die die zu messenden völlig verdecken. Man muß daher das Erdfeld kompensieren, was durch ein großes Solenoid erzielt wurde, das den wirksamen Teil des Apparats umgab.

Die Messungen haben Übereinstimmung mit der Theorie ergeben und damit der Ampèreschen Theorie, daß das magnetische Moment der Eisenmolekeln durch kreisende Elektronen bewirkt wird, eine starke Stütze verliehen.

Es zeigt sich in dieser Arbeit, wie notwendig es ist, sämtliche Gebiete der Physik zur Erforschung von Einzelfällen heranzuziehen. Nicht die einseitige Spezialisierung, sondern die weitblickende Beherrschung des Ganzen zeitigt die großen Erfolge.
