

rechts (wie beim Rohrzucker usw.), wenn die rechts herum gehende kreisförmige Bewegung sich schneller fortpflanzt. Diese Drehung der Polarisationssebene ist für die verschiedenen Lichtstrahlen verschieden groß; sie nimmt vom Rot zum Violett zu. Für ein und dieselbe Farbe ist sie proportional der Dicke der benutzten Quarzplatte bzw. bei Flüssigkeiten proportional der Dicke ihrer Schicht und ihrer Konzentration. Man kann daher auf diese Weise den Gehalt von Lösungen an optisch aktiven Stoffen ermitteln. Die hierzu benutzten Polarisationsapparate heißen Polarimeter oder Polaristrobometer¹; dienen sie speziell zur Zuckerbestimmung, auch Saccharimeter².

Durch eine l dm lange Schicht einer Zuckerlösung, die in 100 ccm z gr Zucker enthält, wird die Polarisationssebene des Lichtes z. B. für das gelbe Natriumlicht um den Winkel $\alpha = 0,665^\circ \cdot z \cdot l$ gedreht. Ist α bekannt, so ergibt sich daraus ohne weiteres z . Bei den einfachsten Saccharimetern wird nun die Zuckerlösung zwischen gekreuzte Nicols gebracht, wodurch (bei Anwendung einfarbigen Lichtes) das bisher dunkle Gesichtsfeld heller wird. Dreht man hierauf den Okular-Nicol so lange, bis das Gesichtsfeld wieder dunkel geworden ist, so ist dadurch der Drehungswinkel α bekannt. Genauere Resultate erhält man, wenn man zwischen beide Nicols eine Doppelquarzplatte einschaltet. Diese besteht aus zwei aneinandergelagerten, gleichdicken, senkrecht zur optischen Achse geschliffenen Quarzplatten, von denen eine rechts-, die andere linksdrehend ist. Beide Platten erscheinen sowohl bei gekreuzten wie bei parallelen Nicols gleich hell (bzw. bei Anwendung weißen Lichtes gleich

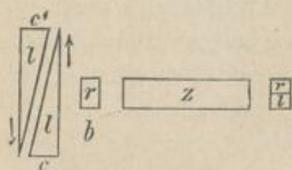


Fig. 128.

gefärbt); nach Zwischenschaltung der Zuckerlösung werden sie dagegen ungleich. Der Winkel, um den der Okular-Nicol gedreht werden muß, damit sie wieder gleich werden, entspricht wieder α . Beim SOLEILSchen Saccharimeter bleibt der Okular-Nicol parallel zum Polarisator stehen; hier wird ein sog. Kompensator benutzt, um die Größe der Drehung zu bestimmen. Ein solcher besteht aus einer rechtsdrehenden Quarzplatte b (Fig. 128)

und zwei linksdrehenden Quarzkeilen c, c' . Letztere können so gegeneinander verschoben werden, daß ihre (genau durch eine Mikrometerschraube meßbare) gemeinsame Dicke gleich, größer oder kleiner wird, als die von b . Da nun das Drehungsvermögen einer 1 mm dicken Quarzschicht bekannt ist, so ergibt sich daraus der optische Effekt derjenigen Zuckerlösung, welcher durch den Kompensator das Gleichgewicht gehalten wird.

Magnetismus.

§ 148. **Definition.** Magnetismus³ wird die ihrem Wesen nach noch nicht genau erforschte Kraft genannt, welche Körper befähigt,

¹ *στροβός* das Herumdrehen im Kreise. — ² *saccharum* Zucker. —

³ Etymologie unsicher; entweder nach dem sagenhaften Hirten MAGNES, oder nach der Landschaft *Magnesia*, oder von *μάγω* bezaubern.

Eisen und ähnliche Körper anzuziehen und, wenn sie in horizontaler Ebene frei beweglich aufgehängt sind, eine bestimmte Richtung einzunehmen. Ein natürlicher Magnet ist der schon den Alten bekannte Magneteisenstein oder Magnetit (Fe_3O_4). Für physikalische und technische Zwecke kommen jedoch nur künstliche Magnete in Betracht, die aus Eisen hergestellt werden [§§ 153, 193].

§ 149. **Magnetische Anziehung.** Die künstlichen Magnete unterscheidet man nach ihrer Form in Stab- und Hufeisenmagnete, sowie (frei bewegliche) Magnetnadeln. Jeder Magnet hat zwei Stellen nahe an seinen beiden Enden, an denen die Anziehungskraft am größten ist, die Pole (Nord- und Südpol). Von hier nimmt die Anziehungskraft nach der Mitte hin allmählich ab, bis sie in der Indifferenzzone gleich Null ist. Man kann dies leicht zeigen, wenn man einen Magneten in Eisenfeilspäne legt. Je nach den Polen gibt es Nord- und Südmagnetismus, und es besteht das wichtige Gesetz, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen. Also z. B. Nordpol und Nordpol stoßen sich ab, Nordpol und Südpol ziehen sich an. Die von jedem Pol ausgehende magnetische Wirkung bezeichnet man als Polstärke, wofür man auch gleichbedeutend magnetische Menge oder Masse sagt. Das Produkt aus der Polstärke eines Poles und dem Abstand beider Pole heißt magnetisches Moment des Magneten.

Für zwei aufeinander wirkende magnetische Körper gilt nun das dem Gravitationsgesetze [§ 11] analoge COULOMBSche Gesetz, daß nämlich die Kraft der magnetischen Anziehung bzw. Abstoßung direkt proportional dem Produkte der Polstärken, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Pole ist,

$$F = \frac{m m^1}{r^2} \cdot k.$$

Hierbei ist k eine von der gewählten Einheit der Polstärke abhängige Konstante. Setzt man diese gleich 1, so kann man als absolute Einheit der Polstärke (oder magnetischen Masse) diejenige Polstärke definieren, welche auf eine gleichgroße im Abstände 1 cm die Kraft 1 Dyne [§ 11] ausübt¹.

§ 150. **Magnetisches Feld. Kraftlinien.** Der ganze Raum, auf den sich die magnetische Wirkung erstreckt, heißt magnetisches Feld. Ein Magnet wirkt nicht nur durch Luft, sondern auch durch andere

¹ Für diesen Fall wird also $F = \frac{m^2}{r^2}$ und $m = \sqrt{F \cdot r^2}$. Hieraus ergibt sich als Dimension der Polstärke [§§ 5, 11] $\sqrt{m l t^{-2} \cdot l^2} = m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}$ bzw. $gr^{1/2} cm^{1/2} sec^{-1}$.

Körper hindurch, Eisen ausgenommen. Die Richtung der magnetischen Kräfte kann man erkennen, wenn man z. B. auf die Pole eines Hufeisenmagneten ein Kartenblatt legt und darauf Eisenfeilspäne streut.

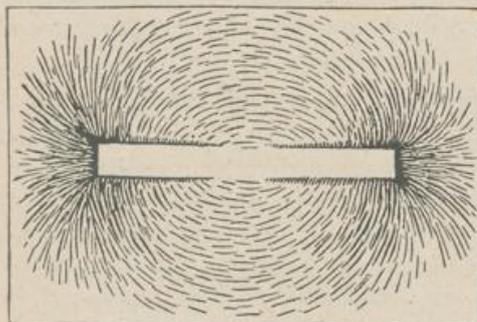


Fig. 129.

Letztere ordnen sich dann in Kurven, die sog. magnetischen Kraftlinien, an, die von einem Pol zum anderen ziehen und genau die Kraftrichtung des Magneten in jedem Punkte des magnetischen Feldes anzeigen (Fig. 129). Im einpoligen Felde strahlen die Kraftlinien radiär von dem Pole aus [vgl. § 190].

Es ist üblich, die Richtung der Kraftlinien dadurch zu bezeichnen, daß man annimmt, sie gehen außerhalb des Magneten vom Nordpol zum Südpol; demgemäß verlaufen sie im Innern des Magneten vom Südpol zum Nordpol. Die Einführung des Kraftlinienbegriffs ist zur Veranschaulichung mancher magnetischer Vorgänge sehr geeignet. Die Tatsache, daß ein Körper Magnetismus bekommt bzw. verliert, kann man z. B. auch dadurch ausdrücken, daß man sagt, er sendet Kraftlinien aus, bzw. er zieht seine Kraftlinien ein. Wird anderseits ein Körper von Kraftlinien geschnitten, so wird er magnetisch. Entsprechend obiger Definition entsteht an der Eintrittsstelle der Kraftlinien ein Südpol, an ihrer Austrittsstelle ein Nordpol. Weiterhin dienen die Kraftlinien auch zu einer übersichtlichen Darstellung der Feldstärke. Macht man nämlich die (an sich willkürliche) Annahme, daß in einem

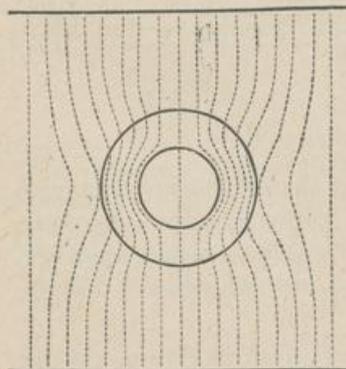


Fig. 130.

homogenen Felde von einem Pol, der die Einheit der magnetischen Menge besitzt, in einer zur Richtung der Kraftlinien senkrechten Ebene durch jedes Quadratcentimeter 1 Kraftlinie geht, dann kann man offenbar die Polstärke 2 dadurch definieren, daß hier durch jedes Quadratcentimeter 2 Kraftlinien gehen usw. Je dichter also an einer Stelle die Kraftlinien sind, desto größer ist hier die Feldstärke. Bringt man z. B. in ein magnetisches Feld einen Ring aus weichem Eisen, so gehen die meisten Kraftlinien bogenförmig um dessen Mitte herum (Fig. 130); das heißt nichts anderes, als daß im Innern eines solchen Eisemings die Stärke des magnetischen Feldes sehr gering ist. Man benutzt diese magnetische Schirmwirkung

des Eisens z. B. dazu, um Magneten vom Einfluß des Erdmagnetismus unabhängig zu machen, indem man sie in ein Gehäuse aus Eisen bringt.

§ 151. **Magnetische Influenz.** Nähert man ein Stück Eisen einem Magneten, so wird es ebenfalls magnetisch, und zwar wird der dem

Nordpol des Magneten genäherte Teil zum Südpol und umgekehrt. Diese Erscheinung, auf der auch die Anziehung beruht, heißt magnetische Influenz und findet ihre Erklärung am besten durch die Annahme, daß in jedem unmagnetischen Eisen schon beide Arten von Magnetismus enthalten sind, aber so angeordnet, daß sie sich gegenseitig neutralisieren, nach außen also nicht wirken können. Nähert man aber einen Magneten, so zieht er den ungleichnamigen Magnetismus in das zugewandte Ende, den gleichnamigen stößt er in das entgegengesetzte. Diese Annahme erklärt auch die Indifferenzzone; denn hier stoßen ja Nord- und Südmagnetismus zusammen und neutralisieren sich daher.

§ 152. **Konstitution der Magnete.** Früher hatte man die bequeme, aber vage Vorstellung, der Magnetismus bestehe aus zwei Fluida (Flüssigkeiten), welche durch Influenz voneinander getrennt würden. Damit ist jedoch die Tatsache nicht zu erklären, daß, wenn man einen Magneten in der Mitte zerbricht, jeder dieser Teile wieder ein vollkommener Magnet mit Nord- und Südpol und Indifferenzzone ist. Dieser Versuch kann beliebig oft wiederholt werden. Man erklärt diese Erscheinung durch die Molekulartheorie, indem man sich vorstellt, daß schon die Moleküle kleinste Magnete sind. In den Magneten sind sie so regelmäßig angeordnet, daß alle Nordpole nach der einen, die Südpole nach der anderen Seite gerichtet sind, so daß sich ihre Wirkung addiert; im unmagnetischen Eisen dagegen sind sie ganz unregelmäßig durcheinander gelagert und daher unwirksam. Die Influenz erklärt sich demnach so, daß der Magnet auf die Moleküle des Eisens eine richtende Wirkung ausübt und alle gleichnamigen Pole nach derselben Seite hin dreht. Diese Drehung der Moleküle ist bei manchen Körpern, z. B. Schmiedeeisen, leicht; aber nach Entfernung des Magneten kehren die Moleküle auch wieder leicht in die frühere Lage zurück. Diese Körper besitzen also nur temporären Magnetismus. Bei anderen Körpern dagegen, z. B. Stahl, ist das Richten der Moleküle schwerer; dafür bleiben sie auch lange in der neuen Lage. Diese Körper besitzen demnach permanenten oder dauernden Magnetismus. Die Kraft, welche die Moleküle in ihrer jeweiligen Lage zu halten sucht, wird Koërzitivkraft¹ genannt. Sie stellt sich nicht nur der Magnetisierung entgegen, sondern auch der Entmagnetisierung. Besitzt also ein Körper bereits Magnetismus, so erfolgt die Änderung seines magnetischen Zustandes nicht proportional der magnetisierenden Kraft, sondern bleibt hinter dieser zurück. Diese Eigenschaft, welche besonders bei Elektromagneten von Bedeutung ist, nennt man Hysteresis². Auf ihr beruht es

¹ *coërceo* zusammenhalten. — ² *ὀπίσθους* das Zuspätkommen.

auch, daß weiches Eisen nach Aufhören der magnetisierenden Kraft etwas remanenten¹ Magnetismus behält. — Eine dritte Hypothese über die Konstitution der Magnete wird bei der Elektrizität besprochen werden [§ 193].

§ 153. **Herstellung von Magneten.** Ein Eisenstück zum Magneten machen, heißt nach dem Gesagten also weiter nichts, wie seinen Molekülen eine gleichmäßige Richtung geben. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist das Bestreichen mit kräftigen Magneten, der sogenannte Strich. Beim einfachen Strich wird der Pol eines Magneten von der Mitte des Stahlstabes nach einem Ende geführt, dort hochgehoben, und dies Verfahren mehrfach wiederholt; dann wird mit dem anderen Pol des Magneten von der Mitte aus nach dem anderen Ende mehrfach gestrichen. Beim Doppelstrich stréicht man mit den entgegengesetzten Polen zweier Magnete oder bequemer mit einem Hufeisenmagneten von der Mitte nach der einen Seite, dann über den ganzen Stab zurück bis zum anderen Ende, wieder zurück usw., bis man schließlich in der Mitte aufhört. Durch das Streichen nimmt der Magnetismus indes nur bis zu einer bestimmten Grenze, der magnetischen Sättigung, zu; diese ist erreicht, wenn alle Moleküle gleichgerichtet sind. Da ein Stab durch Bestreichen nur ziemlich oberflächlich magnetisiert wird, so können dünne Lamellen ebenso stark magnetisch sein wie dicke Stäbe. Aus diesem Grunde vereinigt man auch oft dünne Lamellen zu einem Hufeisenmagneten und nennt dies dann ein magnetisches Magazin. Wird ein Stab während des Magnetisierens erschüttert, so wird sein Magnetismus stärker. Erschüttert man aber einen fertigen Magneten, wozu auch das Abreißen des Ankers (d. i. das Eisenstück, welches an die Pole eines Hufeisenmagneten geht) gehört, so wird die magnetische Kraft verringert. Man kann dies leicht mittels der Molekulartheorie erklären. Das Erschüttern lockert den molekularen Zusammenhang, befördert also während des Magnetisierens die Drehung der Moleküle; beim fertigen Magneten wird dagegen die gleichmäßige Richtung dadurch gestört. — Die stärksten Magnete erhält man übrigens durch Elektrizität [§ 193].

§ 154. **Tragkraft.** Unter der Tragkraft eines Magneten versteht man das Gewicht, das seiner Anziehungskraft das Gleichgewicht hält. Die Tragfähigkeit prüft man, indem man an den Anker eines Magneten nacheinander immer größere Gewichte anhängt, bis er schließlich abfällt. Es ist festgestellt, daß die Tragkraft eines Hufeisenmagneten die doppelte Tragkraft eines seiner Pole übertrifft.

§ 155. **Diamagnetismus.** Starke Magnete, besonders Elektromagnete, ziehen nicht nur Eisen, sondern auch andere Körper an;

¹ *remaneo* zurückbleiben.

alle diese heißen paramagnetisch. Manche Körper, z. B. Wismut und Antimon, werden dagegen von Magneten abgestoßen; sie heißen diamagnetisch. Die Erklärung dieser Erscheinung ist ähnlich wie die des Auftriebs. Trotzdem alle Körper der Schwere unterworfen sind, entfernen sie sich doch von der Erde, wenn sie sich in einer Flüssigkeit von größerem spezifischen Gewichte befinden. Ebenso wird ein Körper dann von einem Magneten abgestoßen, wenn das Medium, in dem er sich befindet, stärker als er selbst vom Magneten angezogen wird. Daraus geht hervor, daß ein und derselbe Körper sowohl paramagnetisch als diamagnetisch sein kann.

§ 156. **Erdmagnetismus.** Ein frei beweglicher Magnet, z. B. eine Magnetnadel, nimmt eine ungefähr nordsüdliche Richtung ein; darauf beruht der für Seeleute unentbehrliche Kompaß. Diese Erscheinung kann nach dem Gesetze von der magnetischen Anziehung nur so gedeutet werden, daß die Erde selbst ein großer Magnet ist, und zwar liegt ihr Südpol im Norden, der Nordpol im Süden. Indes liegen die magnetischen Pole der Erde nicht genau an den geographischen. Denn eine Magnetnadel zeigt nicht genau von Norden nach Süden, sondern weicht seitlich von dieser Richtung ab, und zwar ist diese Abweichung, die sogenannte Deklination, also der Winkel zwischen astronomischem und magnetischem Meridian, für jeden Ort verschieden. Außerdem steht eine Magnetnadel auch nie genau horizontal, sondern stets geneigt; diese Inklination, also der Winkel zur Horizontalen, hängt ebenfalls von der Lage des betreffenden Ortes ab.

Dasselbe gilt auch für die Intensität des Erdmagnetismus, die natürlich an den magnetischen Polen am größten ist. Man kann sich die Totalintensität (T Fig. 131) in eine vertikale (V) und eine horizontale (H) Komponente zerlegt denken. Letztere, die sogenannte Horizontalintensität des Erdmagnetismus kann, ähnlich wie die Erdanziehung durch Pendelschwingungen, aus den Schwingungszeiten einer in Bewegung versetzten horizontalen Magnetnadel berechnet werden; sie ist nämlich an verschiedenen Orten der Erde umgekehrt proportional den Quadraten der Schwingungszeiten. Die Totalintensität ergibt sich dann aus der Formel $H = T \cos i$, wo i der Inklinationswinkel ist. Die Linien, welche Orte gleicher Deklination, Inklination, Intensität verbinden, heißen Isogonen, bzw. Isoklinien, bzw. Isodynamen. Alle diese erdmagnetischen Elemente zeigen tägliche, säkulare und unregelmäßige Schwankungen.

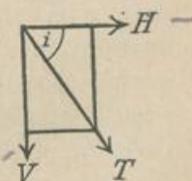


Fig. 131.

*Isogonen**Isoklinien**Isodynamen**Isodynamen*