©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Das Zeemanphänomen.

Von

Prof. Dr. Gustav Jäger.

Vortrag, gehalten den 25. Februar 1903.

Mit 8 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Als das letztemal der „Nobel-Preis“ für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiete der Physik verteilt wurde, fiel derselbe den Herren H. A. Lorentz und P. Zeeman zu. Es dürfte daher von allgemeinem Interesse sein zu erfahren, welche hervorragende physikalische Arbeit von den beiden genannten Holländern herrührt.

H. A. Lorentz, welcher in erster Linie theoretischer Physiker ist, begründete eine neue Theorie der elektrischen Erscheinungen. Es ist dies die sogenannte Elektronentheorie.

Um den Wert einer Theorie beurteilen zu können, hat man sein Augenmerk vornehmlich auf zwei Punkte zu richten. Einmal hat sie den Zweck, größere Erscheinungsgebiete unter einheitlichen Gesichtspunkten zusammenzufassen, so daß wir mit Hilfe gegebener Grundbegriffe nach den Gesetzen der Logik die einzelnen Erscheinungen uns ableiten können. Es ist dies der sogenannte ökonomische Teil einer jeden Theorie, indem sie uns dazu verhilft, Ordnung in weite Erscheinungsgebiete zu bringen und die Aneignung einer vollständigen Übersicht erleichtert. Andererseits, und das ist der weitaus wichtigere Punkt, soll eine Theorie uns ermög-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

lichen, neue Erscheinungen aufzufinden. Darin besteht ihr heuristischer Wert. Zeigt sich eine Theorie in dieser Hinsicht besonders stark, so ist sie unstreitig von großer Bedeutung für die Wissenschaft, und es ist zweifellos die Menschheit dem Begründer einer derartig fruchtbaren Theorie großen Dank schuldig.

Während es nun Herrn Lorentz gelungen ist, durch die sogenannte Elektronentheorie gewisse optische Erscheinungen der Elektrizitätslehre mit einzureihen, was bis dahin noch nicht vollkommen gelungen war, so bewies er damit jedenfalls den ökonomischen Teil seiner Theorie. Zur Entdeckung neuer Erscheinungen wurde durch dieselbe einer seiner Schüler P. Zeeman geführt, wodurch der Nachweis ihres heuristischen Wertes gegeben ist.

Um uns das Verständnis des sogenannten Zeemanphänomens in gemeinverständlicher Weise zu ermöglichen, ist es nötig, gewisse Erscheinungen aus dem Gebiete des Lichtes, der Elektrizität und des Magnetismus uns vor Augen zu führen.

Es ist noch nicht sehr lange her, daß man die Lehre vom Licht einerseits, von der Elektrizität und dem Magnetismus andererseits als vollkommen getrennte Gebiete betrachtete. Erst durch den genialen Engländer J. Cl. Maxwell wurde eine Theorie angebahnt, nach welcher die optischen und elektrischen Erscheinungen unter ganz denselben Gesichtspunkten betrachtet werden können. Obwohl diese Theorie wohlbegründet schon in den Sechzigerjahren des 19. Jahrhunderts vollständig fertig vorlag, verschaffte sie sich doch erst in den Acht-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zigerjahren allgemeinen Anklang. Die bis dahin bekannten optischen und elektrischen Erscheinungen ließen sich ebensogut durch die älteren Theorien darstellen und erst den denkwürdigen Versuchen des berühmten Physikers Heinrich Hertz ist es zu verdanken, daß die Überbrückung zwischen elektrischen und optischen Erscheinungen hergestellt wurde. Was bei Maxwell nur Theorie war, wurde bei Hertz zur Tatsache. Ähnlich den Lichtwellen stellte Hertz elektrische Wellen her, mit denen er eine große Reihe von Experimenten vorzuführen imstande war, welche man bis dahin nur mit Lichtstrahlen gezeigt hat, so daß er neben die Lichtstrahlen als vollkommen wesensgleich die „Strahlen elektrischer Kraft“ setzen konnte. Trotz dieser großen Triumphe, welche die Maxwellsche Theorie des Lichtes und der Elektrizität feierte, ist es ihr jedoch nicht gelungen, in sämtliche Erscheinungen der Optik vollkommene Klarheit zu bringen, und das war der Anstoß für Herrn H. A. Lorentz, eine neue Theorie des Lichtes auszuarbeiten, wobei allerdings das Licht abermals als eine elektrische Erscheinung aufgefaßt wird. Der Unterschied dieser neuen Theorie von der Maxwell'schen liegt also in einer verschiedenen Auffassung des Wesens der Elektrizität. Es würde uns zu weit führen, uns auf die Einzelnheiten der Theorie einzulassen. Wir wollen von ihr nur so viel erwähnen, als wir zur späteren Darstellung des sogenannten Zeemanphänomens bedürfen.

Nach der Elektronentheorie besteht das Licht ebenso in einer schwingenden Bewegung wie nach den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

älteren Theorien. Der Ausgangspunkt eines Lichtstrahles jedoch ist nach dieser Theorie ein schwingendes Elektrizitätsteilchen. Dieses Teilchen haben wir uns vorzustellen ähnlich einem Atom der Materie. Es ist ein unteilbares Ganzes, welches wir uns allerdings sehr klein denken müssen, dessen Quantität zu bestimmen aber die Wissenschaft in der Lage ist, genau so wie es auch gelungen ist, die Masse eines Atoms zu berechnen. Wenn nun ein derartiges Elektrizitätsteilchen, deren Zahl in einer leuchtenden Flamme etwa ähnlich groß — nach manchen Forschern noch bei weitem größer — anzunehmen ist wie die Zahl der in dieser Flamme enthaltenen Gasmolekeln, eine genügend große Anzahl von Schwingungen in der Sekunde um seine Ruhelage macht, so wird es befähigt, elektrische Wellen auszusenden, welche wir bei genügend großer Schwingungszahl als Lichtwellen wahrnehmen. Die Art der Schwingungen, welche die Elektrizitätsteilchen in einer Flamme machen, wird daher von wesentlichem Einfluß auf die Art des Lichtstrahles sein. Schwingt ein Teilchen in einer geraden Linie hin und her, so pflanzen sich die elektrischen Schwingungen hauptsächlich nach jenen Richtungen fort, welche senkrecht zur Schwingungsrichtung stehen. Wir haben es also mit sogenannten Transversalschwingungen zu tun ähnlich den Wellen, welche sich auf einer Wasseroberfläche fortpflanzen. Da nun in einer Flamme die einzelnen Teilchen nach den verschiedensten Richtungen Schwingungen vollführen, so muß ein Strahlenbündel, welches wir aus dem Lichte der Flamme herausgreifen, uns Licht-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wellen zeigen, welche Schwingungen nach allen Richtungen senkrecht zur Richtung des Lichtstrahles machen. Alles Licht, welches wir direkt von unseren künstlichen Lichtquellen, seien es jetzt Gasflammen oder Gasglühkörper, elektrische Glühlampen oder Bogenlampen, erhalten, ist derart beschaffen.

Wir können also sagen, daß das gewöhnliche Licht Schwingungen nach allen Richtungen senkrecht zum Lichtstrahl ausführt. Lassen wir jedoch einen Lichtstrahl durch einen Kalkspat (den sogenannten isländischen Doppelspat) fallen, so zeigt sich eine sehr merkwürdige Erscheinung. Es wird der Strahl in zwei Strahlen gespalten. Man hat diese Erscheinung Doppelbrechung des Lichtes genannt. Es kann dieselbe an vielen Kristallen wahrgenommen werden. Wenn wir nun diese beiden Strahlen an einem Spiegel aus schwarzem Glase reflektieren lassen, so zeigt sich, daß je nach dem Einfallswinkel und der Stellung des Spiegels zum Lichtstrahle die Stärke des reflektierten Strahles sehr verschieden ausfällt, ja es gibt eine gewisse Stellung, bei welcher der eine Lichtstrahl überhaupt nicht mehr reflektiert, sondern vom Spiegel vollkommen verschluckt wird. Auch für den anderen Lichtstrahl findet man eine bestimmte Stellung des Spiegels, bei welcher keine Reflexion stattfindet. Während also ein gewöhnlicher Lichtstrahl immer reflektiert wird, ist das beim Lichte, welches einen Kalkspat passiert hat, nicht mehr der Fall. Wir nennen das Licht jetzt geradlinig polarisiert. Man kann nämlich nachweisen, daß dieses Licht nur noch Schwingungen in

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einer ganz bestimmten Ebene vollführt, der sogenannten Polarisationsebene, und daß für die beiden Strahlen, welche durch die Doppelbrechung aus einem gewöhnlichen Lichtstrahle entstehen, diese Schwingungsebenen senkrecht aufeinander stehen.

Man kann nun aus Kalkspat Apparate herstellen, welche nur einen der beiden Strahlen durchlassen. Eine derartige Vorrichtung ist z. B. das sogenannte Nicolsche Prisma — gewöhnlich kurz nur Nicol genannt. Sendet man demnach durch ein solches gewöhnliches Licht, so erhält man einen einzigen geradlinig polarisierten Lichtstrahl. In diesem ist natürlich nicht mehr alles Licht enthalten, welches in den Nicol eingetreten ist, sondern nur jener Anteil, welcher in der Polarisationsebene schon vordem seine Schwingungsrichtung hatte. Wenn ich demnach einen geradlinig polarisierten Lichtstrahl abermals durch einen Nicol sende, so wird nicht in jeder Stellung die Stärke des nun durchtretenden Lichtstrahles dieselbe sein, sondern, wenn die Schwingungsebene des zweiten Nicols senkrecht zur Ebene des ersten ist, wird das Licht vollkommen ausgetilgt. Wir haben also auch hier eine ganz ähnliche Erscheinung wie bei der Reflexion des geradlinig polarisierten Lichtes an einem schwarzen Glasspiegel.

Wenn ein Elektrizitätsteilchen, ein sogenanntes Elektron, sich in einer Kreisbahn bewegt, und zwar mit einer derartigen Geschwindigkeit, daß die Umlaufszahlen den Schwingungszahlen des Lichtes gleichkommen, so sendet es auch in diesem Falle Licht aus, welches je-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

doch wesentlich verschieden ist vom Lichte, das von einem geradlinig schwingenden Elektron herrührt. Betrachten wir die Vorgänge in einer Ebene, welche mit der Kreisbahn zusammenfällt, so scheint einem Auge, wo immer es sich auch in dieser Ebene befindet, das Elektrizitätsteilchen einfach hin- und herzuschwingen, also eine einfach geradlinige Schwingung zu machen. Es wird also nach allen Richtungen der Schwingungsebene dieses Teilchen geradlinig polarisiertes Licht aussenden, dessen Polarisationsebene mit der Schwingungsebene des Elektrizitätsteilchens zusammenfällt. Sehen wir aber senkrecht auf die Schwingungsebene, so macht für unser Auge dieses Teilchen eine gleichförmige Kreisbewegung. Auch diese Bewegung pflanzt sich als elektrische Welle im Äther fort und wird als Lichtstrahl empfunden. Die Wellenbewegung geht jedoch jetzt in Form eines Kreises um die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes herum. Einen derartigen Lichtstrahl pflegen wir zirkularpolarisiert zu nennen. Auch das zirkularpolarisierte Licht können wir nach Belieben auf künstliche Weise erzeugen.

An dem allgemein bekannten Pendel können wir leicht nachweisen, daß sich zwei geradlinige Schwingungen, welche senkrecht aufeinander erfolgen, unter gewissen Umständen zu einer kreisförmigen Schwingung zusammensetzen können. Gebe ich nämlich der Pendelkugel, welche sich in Ruhe befindet, in einer bestimmten Richtung einen Stoß, so wird sie in dieser Richtung hin- und herschwingen; würde ich in einer Richtung senkrecht

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

darauf dem Pendel diesen Stoß versetzt haben, so würde auch seine Schwingungsrichtung senkrecht zur früheren sein. Wenn ich aber nun diesen zweiten Stoß dem Pendel versetze, wenn er sich nicht in der Ruhelage befindet, sondern wenn er gerade seine größte Schwingungsweite hat, so erhält dadurch die Kugel eine elliptische Bewegung, die bei gleicher Größe der beiden Stöße in eine Kreisbewegung übergeht. Während also der eine Stoß in der Ruhelage erteilt wurde, können wir den zweiten Stoß erst dann erteilen, wenn die Pendelkugel die größte Schwingungsweite erreicht hat. Die kürzeste Zeit, welche dabei verfließt, ist ein Viertel jener Zeit, welche die Pendelkugel zu einem vollen Hin- und Hergang bedarf oder, wie man sich auszudrücken pflegt, gleich ein Viertel Schwingungsdauer. Der Physiker sagt, zur Erzeugung einer Kreisschwingung müssen die beiden geradlinigen Schwingungen einen Phasenunterschied von ein Viertel Schwingungsdauer haben.

Wenn ich nun einen Lichtstrahl durch einen doppelbrechenden Kristall gehen lasse, so erhalte ich zwei Lichtstrahlen, deren Schwingungen senkrecht zu einander stattfinden. Die Beobachtung zeigt ferner, daß sich diese Lichtstrahlen mit verschiedener Geschwindigkeit im Kristall fortpflanzen. Während also beim Eintritt die beiden senkrecht zueinander polarisierten Strahlen keinen Phasenunterschied besitzen, ist beim Austritt aus dem Kristall ein solcher vorhanden, weil der eine Lichtstrahl auf demselben Wege nicht dieselbe Zahl von Schwingungen gemacht hat wie der andere. Bei gewissen Kristallen,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

z. B. beim Glimmer, läßt sich nun die Dicke der Platte so herstellen, daß der Phasenunterschied beim Austritt des Lichtes eine Viertelschwingungsdauer beträgt, und es setzen sich dann die beiden geradlinigen Lichtschwingungen gerade so, wie wir es beim Pendel sehen konnten, zu einer Kreisschwingung zusammen. Wir haben also zirkular polarisiertes Licht vor uns.

Daß wir derartige Unterschiede bei den verschieden polarisierten Lichtstrahlen machen müssen, zeigt sich in den verschiedenen optischen Erscheinungen, welche Kristalle geben, wenn wir sie von verschieden polarisiertem Licht durchsetzen lassen, auf die wir jedoch an dieser Stelle nicht weiter eingehen können. Eine zweite Möglichkeit, zirkularpolarisiertes Licht herzustellen, gewährt uns der Vorgang der Totalreflexion.

Man kann leicht nachweisen, daß ein Lichtstrahl, der von einem dichteren in ein dünneres Medium übertritt, nur bei einem bestimmten Einfallswinkel dies vollführen kann. Wird der Einfallswinkel zu groß, so wird der Lichtstrahl an der Trennungsfläche der beiden Medien vollkommen reflektiert. Wir können diesen Vorgang besonders leicht wahrnehmen in einem Würfel aus Uranglas, da alle Stellen dieses Glases, welche vom Lichte getroffen werden, selbstleuchtend werden und so den Gang der Lichtstrahlen leicht beobachten lassen. Darauf beruht auch die Verwendung sogenannter total reflektierender Prismen. Es sind das Prismen aus farblosem Glas, deren Querschnitt ein gleichschenkeliges rechtwinkliges Dreieck bildet, wobei die Hypothenusenfläche als spie-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gelnde Fläche benützt wird. Kein anderer der gewohnten Spiegel erzielt bei ber Reflexion eine derartige Lichtstärke wie ein totalreflektierendes Prisma.

Es darf wohl als allgemein bekannt vorausgesetzt werden, daß sich eine jede Bewegung in sogenannte Komponenten zerlegen läßt oder aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt gedacht werden kann. So können wir jede geradlinige Schwingung uns zusammengesetzt denken aus anderen geradlinigen Schwingungen, die verschiedene Winkel untereinander bilden. Fällt also z. B. ein geradlinig polarisierter Lichtstrahl auf eine reflektierende Ebene, so können wir uns seine Schwingungen zerlegt denken in Schwingungen, welche senkrecht zur Einfallsebene, und in solche, welche in der Einfallsebene vor sich gehen. Wie wir nun schon beim gewöhnlichen schwarzen Glasspiegel gesehen haben, werden diese Schwingungen je nach ihrer Lage mit verschiedener Stärke reflektiert. Aber noch mehr, sie erleiden bei der Totalreflexion auch eine Phasenverschiebung, und zwar ist sie für verschiedene Komponenten verschieden, so daß es unter bestimmten Verhältnissen gelingt, bei gleicher Stärke der Komponenten eine Phasenverschiebung um ein Viertel Schwingungsdauer zu erzielen, weshalb sich nach der Reflexion die Komponenten zu einem zirkularpolarisierten Lichtstrahle zusammensetzen. Man erreicht dies am bequemsten mit Hilfe eines sogenannten Fresnelschen Parallelepipeds, bei welchem, wie aus dem Querschnitt desselben (Fig. 1) zu ersehen ist, der Lichtstrahl, welcher bei *A* ein- und bei *B* austritt, an den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Stellen *C* und *D* total reflektiert wird. Ist der Lichtstrahl beim Eintritt geradlinig polarisiert, so kann man bei bestimmter Stellung der Polarisationsebene sowohl geradliniges als zirkular polarisiertes Licht erhalten. Man kann dies leicht nachweisen, da der geradlinig polarisierte Lichtstrahl, wenn er abermals durch einen Nicol geführt wird, sich auslöschen läßt, während der zirkular-

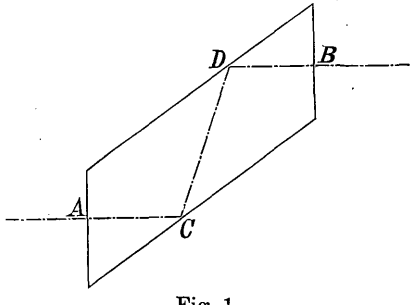

Fig. 1.

polarisierte, wie immer er auch den Nicol passiert, stets mit derselben Intensität, nun aber geradlinig polarisiert das Prisma verläßt.

Wir wollen jetzt einen Blick auf die Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität werfen. Es ist uns bekannt, daß ein Magnet Eisen anzieht, d. h. eine Kraft aufs Eisen ausübt, daß er ebenso Kräfte auf andere Magnete ausübt, die jedoch nicht allein anziehender Natur sind. Gilt ja der allgemeine Satz, daß gleichnamige Magnetpole einander abstoßen, ungleichnamige einander an-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ziehen. Diese Wirkung erklären wir uns durch ein sogenanntes Kraftfeld, welches den Magnet umgibt, das in diesem speziellen Falle den Namen magnetisches Kraftfeld führt. Wenn wir in der Richtung der Kraft weitergehen, so durchwandern wir eine bestimmte Linie, die wir Kraftlinie nennen. Solche Kraftlinien denkt

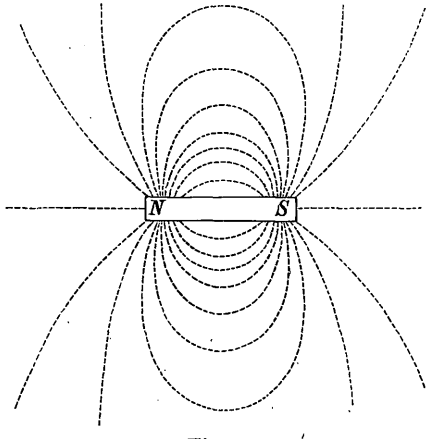

Fig. 2.

man sich vom Nordpol eines Magneten ausgehend, sich über den gesamten Raum verbreitend und zum Südpole zurückkehrend. Wir können uns leicht eine Vorstellung von dem magnetischen Felde mit seinen Kraftlinien machen, wenn wir den Magnet auf eine ebene Fläche legen, die mit Eisenfeilspänen bestreut ist, und nun die Fläche leise erschüttern. Es hängen sich dann die Eisen-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

teilchen in der Richtung der Kraftlinien aneinander und lassen so direkt den Gang der Kraftlinien erkennen. Nehmen wir z. B. einen einfachen Magnetstab, so sehen wir, wie die Kraftlinien (Fig. 2) von dem einen Pole zum anderen gehen.

In dieser Richtung würde auch ein magnetischer Nordpol getrieben, wenn er sich im Kraftfelde des Magneten befindet. Haben wir einen Hufeisenmagnet oder kehren wir die ungleichnamigen Pole zweier Stabmagnete gegen einander und wiederholen den Versuch mit den Eisenfeilspänen, so finden wir, daß sich die Kraftlinien in großer Dichte zwischen den beiden Polen anordnen und von den Polen weg immer spärlicher werden (Fig. 3). Tatsächlich haben wir uns die Kraftlinien um so dichter zu denken, je stärker die Kraft ist, umso dünner, je geringer die Kraft ist. An einer Stelle, wo gar keine Kraft vorhanden ist, befinden sich auch keine Kraftlinien. Sind die Körper frei beweglich, so daß sich das Kraftfeld selbständig ändern kann, so tritt die Bewegung der Körper immer derart ein, daß damit eine Verkürzung der Kraftlinien verbunden ist. Es verhalten sich also die Kraftlinien wie elastische Schnüre, welche zwischen den ein-

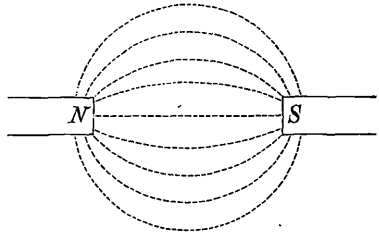

Fig. 3.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zelnen Körpern ausgespannt sind. Kennt man demnach bei irgend einer Anordnung magnetischer Kräfte die Richtung der Kraftlinien, so kann man auch sofort bestimmen, wie sich ein Körper in diesem Falle bewegen wird.

Wir können nun nicht nur durch Magnete ein magnetisches Feld erzeugen, sondern wir wissen ja, daß auch elektrische Ströme magnetische Wirkungen aus-

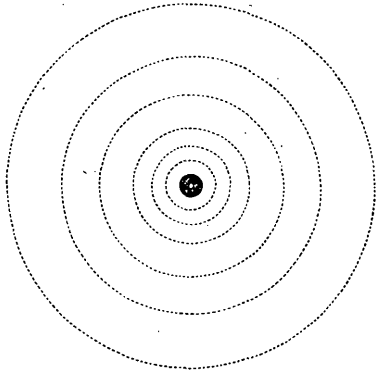

Fig. 4.

zuüben imstande sind. Stecken wir z. B. einen geraden Draht senkrecht durch eine ebene Fläche, etwa einen Karton, ein Brett oder eine Glasplatte, so zeigen sich in dem Momente, wo der Draht von einem elektrischen Strome durchflossen wird, ebenfalls magnetische Kraftlinien um den Draht herum, und zwar bilden sie konzentrische Kreise, deren Mittelpunkt der Draht selbst bildet (Fig. 4).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wir wollen jetzt folgenden Versuch machen. Wir bringen auf ein Brettchen zwei Stabmagnete, deren ungleichnamige Pole einander zugekehrt sind (siehe Fig. 3). Zwischen den beiden Polen führen wir senkrecht durchs Brettchen einen Draht, den ein starker elektrischer Strom durchfließt. Wir erzeugen die Kraftlinien, welche das Resultat aus den Kraftlinien der Magnete und jenen

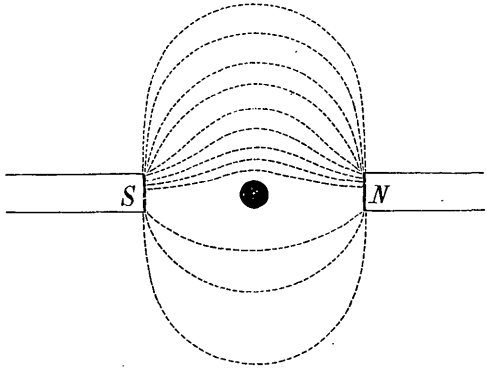

Fig. 5.

des Stromes sind. Dort, wo die Kraftlinien der Magnete mit jenen des Stromes gleichgerichtet sind, verstärken sie sich; wo sie entgegengesetzt gerichtet sind, schwächen sie sich; wie man ohneweiters aus der Fig. 5 ersieht, würde ein derartiger Draht, wenn er frei beweglich wäre, gegen die schwache Seite des magnetischen Feldes getrieben. Es würde ein solcher elektrischer Strom also eine Kraft erfahren, die senkrecht

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zur Richtung der magnetischen Kraftlinien gerichtet ist. Tatsächlich wird ein Draht, der frei beweglich zwischen den Polen eines Hufeisenmagnetes aufgehängt ist, herausgeschleudert, sobald er von einem elektrischen Strome durchflossen wird.

Unter einem elektrischen Strome verstehen wir nichts anderes als in Bewegung befindliche Elektronen. Auch ein einzelnes wanderndes Elektron müssen wir somit als einen elektrischen Strom auffassen, welches demnach in einem magnetischen Felde nicht mehr geradlinig wandern, sondern wie jeder andere elektrische Strom eine Ablenkung erfahren wird. Während ein elektrischer Strom, der in der Richtung magnetischer Kraftlinien liegt, keine Kraftwirkung erfährt, hingegen die größte Kraft auf ihn ausgeübt wird, wenn er die magnetischen Kraftlinien senkrecht durchschneidet, so wird auch ein Elektron, welches sich in Richtung der Kraftlinien bewegt, nicht abgelenkt, wohl aber, wenn es senkrecht zur Richtung der Kraftlinien fliegt.

Aus dieser Theorie zog nun Herr P. Zeeman den Schluß, daß die Bewegung der Lichtteilchen einer Flamme, die ja nichts anderes als schwingende Elektrizitätsteilchen sind, eine Änderung erfahren muß, sobald die Flamme sich in einem starken magnetischen Felde befindet. Wir wollen nun näher untersuchen, wie die Bewegung der Lichtteilchen durchs magnetische Feld beeinflußt wird. Von vornherein sollen sich die Lichtteilchen in einer geradlinig schwingenden Bewegung befinden. Jedes einzelne Teilchen sendet demnach geradlinig polarisiertes

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Licht aus; in ihrer Gesamtwirkung erzeugen sie jedoch, wie schon früher auseinandergesetzt wurde, gewöhnliches Licht.

Verfolgen wir nun die Bewegung eines einzelnen Teilchens, so können wir sie uns, wie schon erwähnt, aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt denken. So läßt sich z. B. jede geradlinige Schwingung zusammensetzen aus zwei gleichförmigen Kreisbewegungen, die in entgegengesetzter Richtung eine bestimmte Kreisbahn durchlaufen. Denken wir uns z. B., es soll in Fig. 6 der Punkt *M* die Kreisbahn gleichzeitig nach rechts und nach links durcheilen, so kann er das natürlich nicht tun, sondern er wird den Mittelweg einschlagen, d. h. er bewegt sich längs des Durchmessers hin und her, führt also eine geradlinig schwingende Bewegung aus, die wir uns demnach immer aus zwei Kreisbewegungen zusammengesetzt denken können. Wir können uns das auch direkt veranschaulichen durch eine kleine Scheibe, an welcher sich zwei kurze, gleich lange Stücke einer Gummischnur befinden. Das Ende des einen nehmen wir in die linke Hand, das des anderen in die rechte. Beim obersten Punkte der Kreislinie setzen wir nun beide Hände auf und führen sie die eine nach links, die andere nach rechts gleichförmig längs der Kreislinie vorwärts. Es kann dann die kleine Scheibe

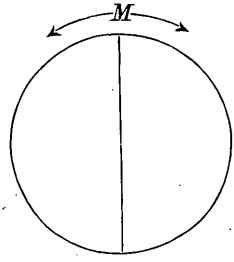

Fig. 6.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

weder der linken noch der rechten Hand folgen, sondern sie wird in der Mitte auf dem gedehnten Gummifaden sitzen bleiben und tatsächlich sich längs des Durchmessers des Kreises bewegen, wie schon auseinandergesetzt wurde. Aufs Licht angewendet, heißt das nichts anderes, als daß wir uns einen geradlinig polarisierten Lichtstrahl immer zusammengesetzt denken können aus zwei zirkularpolarisierten Lichtstrahlen, deren Schwingungen in entgegengesetzter Richtung erfolgen.

Denken wir uns jetzt, ein Elektron mache eine Kreisschwingung und senkrecht zur Ebene des Kreises laufen die Kraftlinien eines starken Magnetfeldes. Zur elastischen Kraft, welche das Elektron in seine Ruhelage zurückzubringen sucht, kommt somit noch eine magnetische Kraft, welche entweder im gleichen oder im entgegengesetzten Sinne wie die elastische Kraft wirkt, je nachdem das Elektron nach der einen oder nach der anderen Richtung seine Kreisbewegung vollführt. Unterstützen sich elastische und magnetische Kräfte, so bewirkt dies eine Vergrößerung der Schwingungszahl; wirken diese beiden Kräfte einander entgegen, so muß dadurch die Schwingungszahl des Elektrons verkleinert werden.

Bekanntermaßen ist das Licht durch seine Schwingungszahl bestimmt. Jede einzelne Farbe wird in einem Prisma oder einem Beugungsgitter verschieden abgelenkt. Wir ersparen uns diesmal, auf die Erklärung dieser Apparate näher einzugehen, da wir im vergangenen Jahre (siehe: Schriften des Vereines zur Verbreitung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

naturwissenschaftlicher Kenntnisse, Band 42, 1901/02, Seite 81 ff.) uns ausführlich damit beschäftigt haben. Wenn sich demnach ein Lichtteilchen, so wie wir eben beschrieben haben, in einem magnetischen Felde bewegt, so müssen je nach der Schwingungsrichtung Lichtarten ausgesendet werden, die einmal stärker, einmal schwächer brechbar sind als das normale Licht. Haben wir Licht von einer bestimmten Wellenlänge, so entspricht ihm eine ganz bestimmte Spektrallinie. So sendet z. B. eine mit Kochsalz gelb gefärbte Flamme eines Bunsenbrenners nur zwei Lichtarten aus, deren Wellenlänge sehr wenig von einander verschieden ist. Das Spektrum dieses Lichtes besteht in zwei nahe aneinander liegenden gelben Linien. Bei der Lichtempfindung kommen immer nur jene Bewegungen der Elektronen in Betracht, welche senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtstrahles erfolgen, und jede geradlinige Schwingung können wir uns dabei aus zwei Kreisschwingungen zusammengesetzt denken. Wenn wir nun einen Lichtstrahl betrachten, der in der Richtung der magnetischen Kraftlinien geht, so stehen diese beiden kreisförmigen Schwingungen senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien, und da sie entgegengesetzt gerichtet sind, muß die eine beschleunigt, die andere verzögert werden, so daß das so schwingende Elektron zwei verschieden zirkularpolarisierte Lichtstrahlen aussendet, deren einer eine größere, der andere eine geringere Wellenlänge hat als das normale Licht. Lassen wir demnach eine Kochsalzflamme in einem starken magnetischen Felde brennen und unter-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

suchen wir spektroskopisch das Licht, welches in der Richtung der magnetischen Kraftlinien ausgesendet wird — es geht das nur auf diese Art, daß man den einen Magnetpol in dieser Richtung durchbohrt —, so sieht man überall dort, wo früher nur eine Spektrallinie war, jetzt deren zwei. Man nennt eine derartige Verdopplung der Spektrallinien durch das magnetische Feld ein Douplet.

Zeeman, der diese Erscheinung aus der Elektronentheorie folgerte, konnte bei seinem ersten Versuche den Nachweis der Teilung der Spektrallinien nicht erbringen. Wohl aber beobachtete er eine Verbreiterung der Linien im Magnetfelde und stellte auch fest, daß die beiden Ränder der Linien entgegengesetzt zirkularpolarisiert waren. Daß er die volle Trennung der Linien nicht erzielte, lag nur an der mangelhaften Stärke des von ihm verwendeten Beugungsgitters. Als er ein Gitter größter Art benützte, gelang ihm die Trennung der Spektrallinien vollkommen, und es wurde von anderen der Versuch wiederholt und bestätigt. Hauptbedingung dabei bleibt immer ein sehr starkes magnetisches Feld, wie es nur durch große Elektromagnete erzielt werden kann, und ein sehr kräftiges, sogenanntes Rowlandsches Gitter.

Aber nicht allein, wenn wir in der Richtung der magnetischen Kraftlinien das Licht einer Kochsalzflamme beobachten, erhalten wir eine Veränderung der Spektrallinien, sondern auch jenes Licht, welches senkrecht dazu austritt, erfährt eine Umwandlung. Um dies besser ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

stehen zu können, zerlegen wir uns eine geradlinig schwingende Bewegung nach drei Richtungen, die eine gehe von links nach rechts, die zweite von oben nach unten und die dritte in unserer Sehrichtung von vorn nach hinten. Letztere Bewegung erzeugt keine Lichtempfindung, da wir ja wissen, daß die Lichtschwingung immer senkrecht zur Richtung des Lichtstrahles erfolgt. Es kommt also bloß die Richtung von links nach rechts und jene von oben nach unten in Betracht. Von links nach rechts sollen gleichzeitig die magnetischen Kraftlinien gehen, d. h. eine derartige Schwingung wird gar keine Änderung erfahren. Es wird diese Lichtschwingung uns geradlinig polarisiertes Licht von derselben Wellenlänge ins Auge senden, als wenn gar kein magnetisches Feld vorhanden wäre. Was nun die Schwingung von oben nach unten anbelangt, so erfolgt dieselbe senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien. Wir zerlegen sie wieder in zwei Kreisschwingungen, deren Ebenen ebenfalls senkrecht zu den Kraftlinien stehen. Von diesen beiden Schwingungen wissen wir aber, daß die eine eine Verzögerung und die andere eine Beschleunigung erfährt. So wie wir das schwingende Teilchen betrachten, fällt unsere Sehrichtung mit der Ebene der Kreisschwingung zusammen und hat dann für unser Auge denselben Effekt, als wäre sie eine bloß hin- und hergehende Schwingung, wie schon früher einmal erwähnt. Das was unser Auge empfindet, ist demnach geradlinig polarisiertes Licht, aber es sind zwei verschiedene Lichtsorten, welche im Spektroskop Linien erzeugen, die links und rechts zur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

normalen Spektrallinie liegen, d. h. wir sehen jede Spektrallinie, wenn wir das Licht senkrecht zur Richtung der Kraftlinien beobachten, dreifach. Wir nennen diese Erscheinung ein Triplet. Da nun die beiden äußeren Linien nicht weiter von einander entfernt sind als die beiden Linien des Douplets, so gelingt die Auflösung des Triplets noch schwieriger als jene des Douplets. Doch ist auch das Triplet von verschiedenen Physikern beobachtet worden.

Es erscheint mir interessant, noch etwas näher auf die Schwingungsform des senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Teilchens einzugehen. Wir haben schon erwähnt, daß wir uns die Schwingung aus zwei Kreisschwingungen von verschiedener Geschwindigkeit und entgegengesetzter Richtung zusammengesetzt denken können. In Wirklichkeit macht das Teilchen natürlich weder die eine noch die andere dieser Kreisschwingungen, sondern seine Bahn ist eine viel kompliziertere. Da das Teilchen bei der Bewegung von der magnetischen Kraft immer nach derselben Richtung abgelenkt wird, geht die ursprünglich auf- und abgehende in eine sternförmige Bewegung über, wie sie etwa Fig. 7 zeigt. Betrachten wir diese Figur von der Seite, so sehen wir eine auf- und abgehende Bewegung, welche jedoch bald eine größere, bald eine kleinere Schwingungsweite zeigt. Schwingt nämlich das Teilchen gerade senkrecht zur Sehlinie, so scheint es uns den weitesten Weg zurückzulegen, während die Bewegung für uns ganz unsichtbar wird, wenn sie in der Sehlinie erfolgt. Unser Auge beobachtet demnach

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

eine schwingende Bewegung, welche, wie man in der Akustik sagt, Schwebungen macht. Eine solche schwingende Bewegung mit Schwebungen läßt sich immer aus zwei schwingenden Bewegungen, welche nicht ganz übereinstimmende Schwingungszahlen haben, zusammengesetzt denken. In der Akustik können wir das leicht, etwa mit zwei gleichgestimmten Stimmgabeln, zeigen,

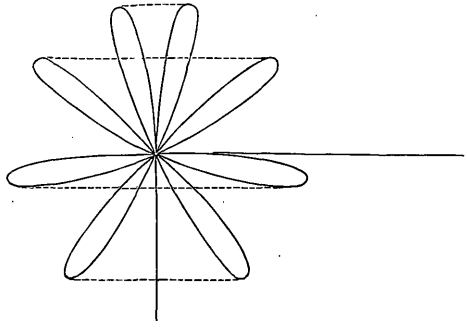

Fig. 7.

deren eine wir an den Enden ihrer Zinken etwas belasten, indem wir etwa kleine Wachsklümpchen aufsetzen. Diese letztere macht dann weniger Schwingungen als die andere Stimmgabel und lassen wir jetzt beide gleichzeitig ertönen, so hören wir zwar nur einen Ton, aber dieser Ton wird abwechselnd stärker und schwächer. Wie wir demnach aus zwei verschiedenen Tönen einen einzigen mit Schwebungen erzeugen können, so können wir auch eine schwebende Lichtschwingung durch das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Spektroskop direkt in seine Komponenten zerlegen. Die Bewegung, die dabei das Lichtteilchen macht, können wir uns auch leicht durch ein mechanisches Bild veranschaulichen.

Es zeigt sich nämlich, daß ein Kreisel, der in starker Drehung begriffen ist, und dessen Achse wir eine Richtungsänderung erteilen, immer eine Kraft erfährt, die senkrecht zu jener Richtung wirkt, in welcher wir die Kreiselachse zu verschieben trachten. Es sei nun ein Kreisel unten an der Pendelstange (Fig. 8) so befestigt, daß die Kreiselachse mit der Stangenrichtung zusammenfällt. Wir versetzen den Kreisel in rasche Umdrehung, bringen die Pendelstange aus ihrer Ruhelage und lassen sie ohne seitlichen Stoß los. Sie wird sodann nicht wie ein gewöhnliches Pendel in ein und derselben Ebene hin- und herschwingen, da auf den Kreisel gleichzeitig eine Kraft senkrecht zu seiner Schwingungsrichtung wirkt. Dadurch erhält er eine bestimmte Ablenkung und vollführt genau dieselbe Bewegung, die ein Elektron im magnetischen Felde macht, dessen Schwingungen senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien erfolgen. Bringen wir unter dem Kreisel noch einen Trichter an, der mit Sand gefüllt ist, so wird der ausrinnende Sand die Bewegung des Kreisels auf dem Fußboden aufzeichnen und man kann so genau die Bewegung studieren, welche der

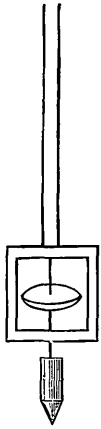

Fig. 8.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Kreisel im Laufe der Zeit vollführt. Erhält z. B. der Kreisel beim Loslassen gleichzeitig eine seitliche Bewegung, so würde er als gewöhnliches Pendel eine elliptische Bahn beschreiben. Bei starker Rotation des Kreisels wird sich die große Achse der Ellipse jedoch genau so weiter bewegen wie bei der geradlinigen Schwingung die Schwingungsebene. Wir bekommen auf diese Art eine Reihe sich übereinander deckender Ellipsen, die ebenfalls eine Bahn darstellen, wie sie von einem Elektron im elektrischen Felde beschrieben werden kann.

Wir haben in der Elektronentheorie, wie wir aus dem Vorhergehenden zur Genüge erkennen konnten, ein vortreffliches Beispiel für den Gang der wissenschaftlichen Forschung. Wir haben gesehen, wie eine gute Theorie zu neuen Experimenten führt, die, wenn sie von Erfolg gekrönt sind, unzweifelhaft zu den großen wissenschaftlichen Errungenschaften zu zählen sind. So erblickt man auch mit Recht in der Entdeckung des Zeemanphänomens einen bedeutenden Erfolg der Elektronentheorie und eine große physikalische Tat.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: 43

Autor(en)/Author(s): Jäger Gustav

Artikel/Article: Das Zeemanphänomen. 213-239