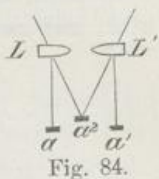


empfunden; es handelt sich also hier um eine Art des sogenannten Muskelgefühls. Ferner erhält man durch seitliche Bewegungen des Kopfes nach einander verschiedene Ansichten des Gegenstandes, die miteinander verglichen werden. Auf diese Weise kann man auch mit einem Auge körperlich sehen. Das beste Hilfsmittel besteht aber wohl darin, daß beim binokularen Sehen das rechte Auge einen etwas anderen Eindruck von einem Objekte erhält wie das linke, und daß diese beiden gleichzeitigen Eindrücke im Gehirn zu einem einzigen verschmolzen werden.

Auf letzterer Tatsache beruht das Stereoskop.¹⁾ Sein Prinzip ist, daß zwei (flächenhafte) Bilder desselben Gegenstandes, die dem Eindruck des rechten bzw. linken Auges von demselben entsprechen, übereinander gelagert werden, und daß dadurch ein körperliches Bild entsteht. Das Stereoskop nach BREWSTER ist nun ein Kasten, an dessen Boden das Doppelbild liegt; eine Scheidewand bewirkt, daß jedes Auge nur das zugehörige Bild sieht. Die Übereinanderlagerung der beiden Bilder erfolgt durch zwei Hälften einer Konvexlinse, die mit den brechenden Kanten gegenüberliegen (Fig. 84) und wie Prismen wirken. Gleichzeitig dienen sie aber als Lupen zur Vergrößerung; natürlich muß dazu das Doppelbild in ihrer Brennweite liegen.²⁾



D. Dispersion, Absorption, Spektralanalyse.

§ 127. *Farbenauffassung.* Einfaches und zusammengesetztes Licht. Als NEWTON Sonnenlicht, das durch einen Spalt in ein dunkles Zimmer drang, durch ein Prisma gehen ließ und dann auf einem Schirm auffing, fand er, daß die Lichtstrahlen nicht nur abgelenkt, sondern auch in eine Reihe kontinuierlich ineinander übergehende Farben zerlegt waren. Die Gesamtheit derselben nannte er Spektrum³⁾ und unterschied besonders Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Ließ er eine dieser Spektralfarben nochmals ein Prisma passieren, so fand zwar wieder eine Ablenkung statt, aber die Farbe blieb dieselbe. Ließ er alle Farben noch durch ein zweites Prisma mit entgegengesetzter brechender Kante gehen, so entstand wieder Weiß. Diese Vereinigung der Spektralfarben zu Weiß kann man auch durch eine Sammellinse bewirken oder durch schnelle Rotation einer Scheibe, auf der die einzelnen Farben aufgetragen sind (Farben-

¹ στερεός starr, fest, körperlich.

² Übrigens kann man auch durch Übung ohne Prismen oder Linsen zwei getrennte Gegenstände zur Deckung bringen.

³ eig. das Bild in der Seele, von *specio* schauen.

kreisel); in letzterem Falle erfolgt die Verschmelzung der Farben zu Weiß erst im Gehirn. Vereinigt man nicht alle Farben des Spektrums, so entsteht nicht Weiß, sondern eine sog. Mischfarbe. Nach Ausschaltung von Rot z. B. entsteht Grün. Rot und Grün zusammen geben also Weiß. Je zwei Farben, bei denen dies der Fall ist, heißen Komplementärfarben.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist nach NEWTON folgende: Die Spektralfarben sind als einfaches oder homogenes Licht zu betrachten, d. h. sie bestehen nur aus Wellen gleicher Schwingungszahl; und zwar hat Rot die kleinste, Violett die größte Schwingungszahl.

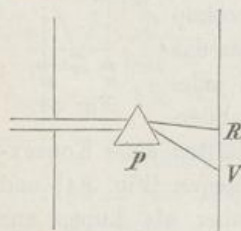


Fig. 85.

Da sich nun alle Farben gleich schnell fortpflanzen, so folgt aus der Formel $v = n\lambda$, [§ 61] daß die roten Strahlen die größte, die violetten die kleinste Wellenlänge haben. Im weißen Lichte sind alle Wellenformen enthalten, es ist also zusammengesetztes Licht. Geht es durch einen brechenden Körper, namentlich durch ein Prisma, so werden seine einzelnen Bestandteile verschieden stark gebrochen, am stärksten

das Violett, am wenigsten das Rot (Fig. 85); sie werden also dadurch voneinander getrennt, zerstreut (dispergiert).¹⁾

¹⁾ Da die Brechung von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängt, diese aber für alle Farben gleich ist, so besteht hier eigentlich ein Widerspruch. Man hilft sich mit der Annahme, daß dem Äther zwischen materiellen Molekülen durch Reibung ein Bewegungshindernis entsteht, das mit der Schwingungszahl wächst. — Es sei hier übrigens kurz darauf hingewiesen, daß es auch andere Erklärungen der Farben gibt. So hat GOETHE eingehende Studien darüber veröffentlicht, die freilich stark angefochten wurden. Er leitet die Farben davon ab, daß entweder Licht durch ein trübes Medium gesehen wird, oder daß hinter einem beleuchteten trüben Medium sich ein dunkler Hintergrund befindet. Im ersten Falle erscheint das Licht bei geringerer Trübung des Mediums gelb und geht mit zunehmender Trübung in gelbrot und rot über; im zweiten Falle sieht man eine blaue Farbe, die mit abnehmender Dichte des Mediums ins Violette übergeht. In neuester Zeit hat O. ROSENBACH diese Ansicht in gewissem Sinne wieder aufgenommen; er faßt Helligkeit und Dunkelheit als Fundamentalreize auf, die entgegengesetzt gerichtete Bewegungen der Sehnervenmoleküle bewirken. Aus ihrer Mischung in verschiedenen Verhältnissen sind alle Farben abzuleiten, wie er auch experimentell durch seine Farbensirene nachwies. Dies ist eine durchlöchernte Pappscheibe, deren dem Beschauer zugewandte Seite ganz dunkel (schwarz) ist, und die vor einer gleichmäßig beleuchteten weißen Fläche verschieden schnell rotiert.

§ 128. **Achromatismus.** Mit jeder Brechung ist eine (wenn auch nicht immer sehr auffallende) Dispersion verbunden. Da nun bei verschiedenen Substanzen das Verhältnis zwischen beiden Vorgängen nicht dasselbe ist, so kann man durch passende Kombinationen (z. B. von Crown- und Flintglas) Prismen herstellen, die zwar noch Brechungsvermögen besitzen, aber von Farbenzerstreuung frei sind, sog. achromatische Prismen, andererseits solche mit Dispersionsvermögen aber ohne Brechkraft, sog. geradsichtige Prismen. Ebenso läßt sich auch bei Linsen die störende Dispersion, hier chromatische Aberration genannt, durch Vereinigung einer Flint- und Crown Glaslinse beseitigen.

§ 129. **Körperfarben.** Die Farbe eines Körpers beruht auf den reflektierten resp. durchgelassenen Strahlen. Absorbiert der Körper von den auf ihn fallenden Strahlen keine, so ist er entweder weiß oder ganz durchsichtig, je nachdem er alle Strahlen reflektiert oder ganz durchläßt. Absorbiert er alle Strahlen, so sieht er schwarz aus. Absorbiert er nur bestimmte Strahlen, so nimmt er die entsprechende Komplementärfarbe an, weil die absorbierten Strahlen natürlich im reflektierten bezw. durchgelassenen Lichte fehlen. Es folgt daraus, daß ein roter Körper in rotem Lichte rot, in grünem schwarz aussieht, daß ein rotes und ein dahinter befindliches grünes Glas eine undurchsichtige Verbindung geben etc.

§ 130. **Spektralanalyse.** Da das Spektrum eines Körpers nichts anderes ist, wie die Nebeneinanderstellung der von ihm ausgesandten Lichtstrahlen, geordnet nach ihren Schwingungszahlen, so ist klar, daß man aus der Beschaffenheit desselben auf den Körper schließen kann. Diese Art der Untersuchung, die sich durch äußerste Feinheit auszeichnet, heißt daher Spektralanalyse. Man gebraucht hierfür den Spektralapparat von KIRCHHOFF und BUNSEN.

Durch einen schmalen Spalt des sog. Kollimatorrohres *A* (Fig. 86) dringen Strahlen von dem zu untersuchenden Körper ein und werden durch eine Sammellinse parallel auf das Prisma *P* geworfen, dort dispergiert und zugleich in das Fernrohr *B* gelenkt. Dort entsteht durch das Objektiv ein umgekehrtes Bild des Spektrums, das dann durch eine Lupe betrachtet wird. Gleichzeitig wird durch das Prisma in das Fernrohr *A* das Bild einer Skala geworfen, welche am

Guttmann, Grundriß der Physik. 3. Auf.

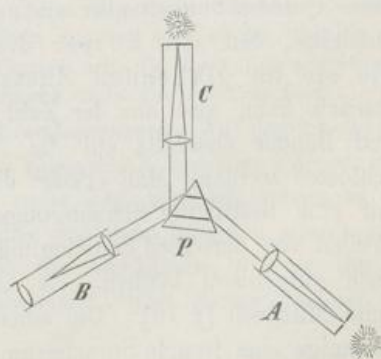


Fig. 86.

vorderen Ende des sog. Skalenrohres *C* in Glas eingeritzt ist; dieselbe dient zur Orientierung im Spektrum.

§ 131. **Emissionsspektren.** Wenn Körper in glühendem Zustande selbst Strahlen aussenden, liefern sie sog. Emissionsspektren.

Um Körper glühend zu machen, bringt man sie entweder in die Flamme eines Bunsenbrenners, oder wenn diese Hitze nicht genügt, in ein Knallgasgebläse, oder endlich in den elektrischen Flammenbogen. Um Gase leuchtend zu machen, schließt man sie sehr verdünnt in sog. GEISSLER'schen Röhren [§ 188] ein und sendet elektrische Funken hindurch.

Die Natur der Spektren ist abhängig von der molekularen Beschaffenheit des betreffenden Körpers. Da bei festen und flüssigen Körpern im Zustande der Weißglut den dicht zusammengedrängten Molekülen alle möglichen Schwingungszahlen zukommen, so werden alle möglichen Farben von ihnen ausstrahlen; es entsteht daher ein kontinuierliches Spektrum, bei dem die Farben ineinander übergehen. Je weiter die Moleküle voneinander entfernt sind, desto eher können sie die ihnen eigentümlichen Schwingungen ausführen, ohne durch Zusammenprall mit anderen gestört zu werden. Es haben daher Dämpfe und Gase bei mäßig hoher Temperatur und Verdünnung ein linienförmiges Spektrum. Letzteres ist besonders charakteristisch für Elemente, ersteres für chemische Verbindungen.

§ 132. **Absorptionsspektren.** Wird von weißem Licht, das durch einen Körper hindurchgegangen ist, ein Spektrum entworfen, so zeigen sich an gewissen Stellen dunkle Linien oder Bänder, die den vom Körper absorbierten Strahlen entsprechen. Dies sind sogenannte Absorptionsspektren. Um sie zu erhalten, stellt man den betreffenden Körper zwischen eine weiße Lichtquelle und das Kollimatorrohr des Spektralapparates; Flüssigkeiten bringt man hierzu in Gefäße mit planparallelen Glaswänden. Einen Wert bekamen diese Untersuchungen aber erst, als KIRCHHOFF das berühmte Gesetz aufstellte, daß alle Körper diejenigen Strahlen absorbieren, die sie im glühenden Zustande selbst aussenden würden. Danach kann also aus der Zahl und Stellung der schwarzen Linien und Bänder ebenfalls auf die Natur der betreffenden Körper geschlossen werden. Man erklärt dies dadurch, daß die Körpermoleküle auf eine bestimmte Schwingungszahl abgestimmt sind, daß sie also Wellen von derselben Schwingungszahl am leichtesten aussenden und auch aufnehmen können. Es sind mithin analoge Verhältnisse wie beim Mittönen [§ 70]. Um einen Vergleich zu gebrauchen, so wird derjenige eine fremde Sprache am besten verstehen (absorbieren), der sie selbst sprechen (emittieren) kann. Von den wichtigen Folgerungen

aus dem KIRCHHOFF'schen Gesetze sei hier nur die Erklärung der sogenannten Fraunhofer'schen Linien angeführt, das sind die äußerst zahlreichen dunklen Linien im Sonnenspektrum. Nach dem oben Gesagten muß es sich hier um ein Absorptionsspektrum handeln. Man nimmt daher an, daß die Strahlen der eigentlichen Sonne erst durch eine Gashölle, die sogenannte Photosphäre, dringen müssen, bevor sie in den Weltraum gelangen. Die FRAUNHOFER'schen Linien, die mit großen lateinischen Buchstaben (die schwächeren mit kleinen) bezeichnet werden, dienen zur Orientierung im Spektrum.

§ 133. **Chemische Wirkung des Lichtes.** Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie kann die Energie der absorbierten Strahlen nicht verloren gehen. In der Tat geht sie über in Wärme und chemische Prozesse. Diese Wirkung haben besonders die unsichtbaren Teile des Spektrums, d. h. diejenigen Strahlen, die nicht mehr oder noch nicht als Licht empfunden werden. Die Wärmewirkung kommt den ultraroten, die chemische den ultravioletten (sogenannten aktinischen¹) Strahlen zu. Von den chemischen Wirkungen des Sonnenlichts sei z. B. erwähnt die Umwandlung des giftigen gelben Phosphors in den unschädlichen roten, die Vereinigung von Wasserstoff und Chlor zu Salzsäure, der Aufbau komplizierter chemischer Verbindungen in Pflanzen. Hierher gehört auch die Photographie.

Die ersten Lichtbilder waren die sog. Daguerreotypien². Hier wirkte das Licht auf Jodsilberplatten; die vom Licht getroffenen Stellen bekamen die Fähigkeit, Quecksilberdämpfe zu kondensieren. Um das so entstandene Bild zu „fixieren“, d. h. weitere Umsetzungen der lichtempfindlichen Platte zu verhüten, wurde das überschüssige Jodsilber mit unterschwefligsaurem Natron abgespült. — Bei der modernen Photographie wird im wesentlichen eine mit Halogensilber überzogene Glasplatte kurze Zeit exponiert. Durch Behandlung mit reduzierenden Substanzen (sog. „Entwicklern“) entsteht an den belichteten Stellen schwarzes metallisches Silber. Nach dem Fixieren erhält man somit ein negatives Bild, d. h. die hellen Stellen des Gegenstandes sind dunkel und umgekehrt. Drückt man dies Negativ auf lichtempfindliches Papier und setzt dieses dem Tageslicht aus, so bleiben die den dunklen Stellen des Negativs entsprechenden Partien hell, die den hellen des Negativs entsprechenden werden dunkel; es entsteht somit ein positives Bild.

§ 134. **Fluoreszenz und Phosphoreszenz.** Auf der Absorption gewisser Strahlen beruht auch die Eigenschaft mancher Körper, z. B. des Flußspats, Chininsulfats etc., unter dem Einflusse intensiver Beleuchtung selbstleuchtend zu werden und dann Strahlen auszusenden, deren Farbe sowohl von derjenigen der Lichtquelle, wie von der gewöhnlichen Farbe des Körpers abweicht. Hält dieser Zustand nur

¹ *aktin* Strahl.

² Nach dem Erfinder DAGUERRE.

während der Bestrahlung an, so heißt er Fluoreszenz¹, während das Nachleuchten Phosphoreszenz genannt wird. Ein phosphoreszierender Körper ist z. B. der Diamant [cf. § 106]. Daß es sich um eine Absorptionserscheinung hierbei handelt, geht daraus hervor, daß Strahlen, die durch einen fluoreszierenden Körper gegangen sind, nicht wieder Fluoreszenz erregen können. Die wirksamen Strahlen sind hier die mit großer Schwingungszahl, welche dadurch, daß sie ihre Bewegung teilweise an materielle Moleküle abgeben, eine Verminderung ihrer kinetischen Energie erfahren und dadurch in Strahlen von größerer Wellenlänge, aber kleinerer Schwingungszahl übergehen. Fluoreszierende Körper sind demnach ein Mittel, die sonst unsichtbaren ultravioletten Strahlen sichtbar zu machen.

E. Interferenz und Polarisation.

§ 135. **Fresnel's Spiegelversuch.** Eine Hauptstütze der Wellentheorie des Lichtes ist die Tatsache, daß unter Umständen Licht zu Licht gefügt, Dunkelheit ergibt. Dies zeigt sehr schön der berühmte Spiegelversuch von FRESNEL:

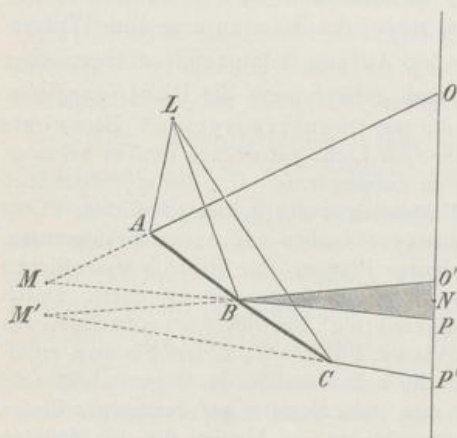


Fig. 87.

Fallen von der Lichtquelle L (Fig. 87) Strahlen auf die unter sehr stumpfem Winkel zusammenstoßenden Spiegel AB und BC , so scheinen die reflektierten Strahlen von den Bildpunkten M und M' zu kommen. Die davon ausgehenden Lichtkegel OMP und $O'M'P'$ haben nun das Stück $O'BP$ gemeinsam, und in diesem entstehen bei Anwendung von einfarbigem Lichte abwechselnd dunkle und helle Streifen, die auf einem Schirme aufgefangen werden können.

Diese dunklen Streifen sind der Ausdruck dafür, daß daselbst Wellen mit entgegengesetzten Phasen zusammentreffen. Da N , die Mitte von $O'P$, von M und M' gleichweit entfernt ist, muß dort Helligkeit herrschen, weil hier die Wellen gleiche Phasen haben. Bei Anwendung von rotem Licht sind die dunklen Streifen weiter voneinander entfernt als beim violetten Licht. Da nämlich die Wellenlänge

¹ Weil zuerst beim Fluorkalzium (Flußspat) entdeckt.