

Alaun, und fast gar nicht Eis. Ferner ist z. B. die Diathermanität des durchsichtigen Bergkristalls gleich der des wenig durchsichtigen Rauchtropases. Wie man nun Licht in verschiedene Farben zerlegen kann, die durch Körper in verschiedenem Maße gehen, so kann auch Wärme durch ein Steinsalzprisma in Strahlen von verschiedener Wellenlänge zerlegt werden. Man spricht daher analog von „Wärmefarben“ und nennt diese Eigenschaft der Wärme Thermochrose<sup>1</sup>. Mit anderen Worten, die Wärmedurchlässigkeit hängt auch von der Qualität der Wärme ab. Über das Verhältnis der Emission zur Absorption gilt das KIRCHHOFF'sche Gesetz, daß ein Körper genau die Strahlen absorbiert, die er selbst aussenden kann. Darauf soll bei der Optik näher eingegangen werden, ebenso wie auf die Erscheinungen der Brechung, Polarisation und Interferenz der Wärmestrahlen, welche genau den Verhältnissen beim Lichte entsprechen.

## Optik.

### A. Ursprung und Ausbreitung des Lichtes.

§ 105. **Natur des Lichtes.** Unter Licht versteht man einmal die subjektive Empfindung der Helligkeit, welche durch verschiedene Reize des Sehnerven und der Sehzentra, z. B. durch Elektrizität, Blutdruckschwankungen etc. hervorgebracht wird, dann aber besonders — im physikalischen Sinne ausschließlich — das Agens selbst, welches diese Empfindung vorzugsweise auslöst. Über die Natur dieses letzteren bestehen verschiedene Ansichten. Nach der Emanations- oder Emissionstheorie<sup>2</sup> NEWTON's ist das Licht ein äußerst feiner Stoff, der von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird. Nach der jetzt fast allgemein akzeptierten Undulationstheorie von HUYGENS entsteht es ebenso wie Wärme durch außerordentlich schnelle Schwingungen der Körpermoleküle, die durch transversale Ätherschwingungen fortgepflanzt werden. Nach der Auffassung von MAXWELL, die immer mehr an Einfluß gewinnt, ist diese wellenförmige Fortpflanzung ihrerseits durch elektromagnetische Vorgänge bedingt [cf. § 190].

<sup>1</sup> χροῖμα Farbe.

<sup>2</sup> *emano* ausfließen, *emitto* aussenden.

§ 106. **Lichtquellen.** Die Verwandtschaft zwischen Wärme und Licht zeigt sich z. B. darin, daß durch genügende Wärmezufuhr Körper leuchtend werden. So wird ein Platindraht durch Erhitzen rot- und schließlich weißglühend. Auch das elektrische Glühlicht ist durch vermehrte Wärmeentwicklung des elektrischen Stromes zu erklären. So ist auch verständlich, daß die größte Wärmequelle, die Sonne, zugleich die stärkste Lichtquelle vorstellt. Alle derartigen Körper, deren Moleküle also so schnell schwingen, daß die von ihnen ausgehenden Ätherwellen (400—800 Billionen in 1 Sekunde, bei der dunklen Wärme 20—400 Billionen) als Licht empfunden werden, heißen selbstleuchtend. Von Himmelskörpern gehören außer der Sonne nur noch die Fixsterne dazu, während z. B. die Planeten nur dadurch sichtbar sind, weil sie das Sonnenlicht reflektieren. Besonders stark wird die Lichtentwicklung, wenn mit der Erwärmung auch eine lebhafte Oxydation (Verbrennung) Hand in Hand geht. Brennende Gase haben übrigens nur ein geringes Leuchtvermögen, das aber durch suspendierte feste Partikelchen bedeutend erhöht wird. So beruht die Helligkeit einer Gasflamme auf den weißglühenden Kohlenstoffteilchen [cf. Bunsenbrenner § 52]. Manche Körper senden aber schon bei gewöhnlicher oder nicht sehr erhöhter Temperatur Licht aus (Lumineszenz<sup>1</sup>). Hierher gehört das Leuchten gewisser niederer Tiere und Pflanzen (z. B. Meerleuchten, Glühwürmchen, faulendes Holz) sowie des Phosphors. Man faßt speziell die erwähnten Erscheinungen unter dem Namen Phosphoreszenz<sup>2</sup> zusammen, bezeichnet aber mit diesem Namen auch das Nachleuchten gewisser Körper, nachdem sie einer starken Belichtung ausgesetzt waren [cf. § 134].

§ 107. **Ausbreitung des Lichtes. Schatten.** Das Licht breitet sich im allgemeinen von einem leuchtenden Punkte nach allen Seiten hin geradlinig und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit aus. Treffen dabei die Lichtstrahlen auf einen Körper, so werden sie entweder zurückgeworfen (reflektiert), oder verschluckt (absorbiert), oder gehen endlich durch ihn hindurch, indem sie dabei eine Ablenkung (Brechung) erfahren. Auf der Reflexion beruht der Glanz der Körper und die Spiegelung, auf der Absorption die Farbe, Erwärmung und chemische Veränderung, auf dem Durchgang des Lichtes die Durchsichtigkeit der Körper. In dünnen Schichten sind alle Körper durchsichtig oder wenigstens durchscheinend, umgekehrt vermindert zunehmende Dicke die Durchsichtigkeit.

<sup>1</sup> *luminesco* leuchten.

<sup>2</sup> *φωσφόρος* Lichtträger.

Da ein undurchsichtiger Körper die Ausbreitung des Lichtes stört, muß hinter ihm eine Schattzone entstehen. Bei einer gewissen Größe der Lichtquelle unterscheidet man den Kernschatten  $abc$  (Fig. 62), der gar kein Licht erhält, vom Halbschatten  $dacbe$ , der teilweise beleuchtet wird. Die Form beider ist durch

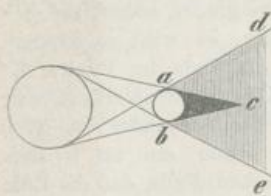


Fig. 62.

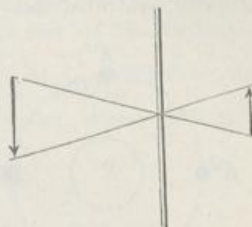


Fig. 63.

die geradlinige Ausbreitung des Lichtes bedingt. Ebenso beruht darauf die Erscheinung der optischen Kammer. Dringt nämlich Licht von einem Gegenstande aus durch einen schmalen Spalt in einen dunklen Raum, so entsteht auf einer gegenüberstehenden Wand ein umgekehrtes Bild desselben (Fig. 63).

§ 108. **Intensität des Lichtes.** Wie für jede Wellenbewegung gilt auch für das Licht der Satz, daß die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist [§ 56]. Darauf beruhen die Photometer, Apparate zur Messung der Lichtstärke. Denn aus der leicht zu messenden Entfernung, die 2 Lichtquellen haben müssen, um dieselbe Wirkung zu erzielen, ist nach diesem Gesetze das Verhältnis ihrer Intensität ohne weiteres zu berechnen. Bei dem RUMFORD'schen Photometer werden die beiden zu vergleichenden Lichtquellen so aufgestellt, daß die von ihnen auf einen Schirm geworfenen 2 Schatten eines Stabes gleich dunkel sind. Das sehr zweckmäßige Fettfleckphotometer von BUNSEN beruht darauf, daß ein Fettfleck auf Papier im durchfallenden Lichte hell, im auffallenden dunkel erscheint und ganz verschwindet, wenn die auf entgegengesetzten Seiten stehenden Lichtquellen gleiche Wirkung ausüben. Als (willkürliche) Lichteinheit, gew. als Normkerze (NK) bezeichnet, benutzt man das Licht der v. HEFNER-ALTENECK'schen Amylazetatlampe bei 40 mm Flammhöhe.

Die ganze Photometrie hat den Mangel, daß es eine absolute Einheit der Lichtintensität noch nicht gibt, und daß sie ferner auf die subjektive Empfindung des Beobachters angewiesen ist. Nun hat aber selbst bei ein und demselben Beobachter die Pupille bei verschiedener Lichtstärke nie dieselbe Weite, es werden also nie gleichgroße Netzhautflächen getroffen.

§ 109. **Lichtgeschwindigkeit.** Das Licht pflanzt sich mit großer Schnelligkeit fort. Es durchläuft in 1 Sekunde 300 000 km oder 40 000 Meilen. Die erste Bestimmung rührt von OLAF RÖMER her.

Befindet sich die Erde zwischen Sonne und Jupiter, etwa in  $E$  (Fig. 64),  
Guttmann, Grundriß der Physik. 3. Aufl. 6

so verstreichen ungefähr  $42\frac{1}{2}$  Stunden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verfinsterungen eines der vier Jupitermonde. Entfernt sich die Erde vom Jupiter, so wird das Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ver-

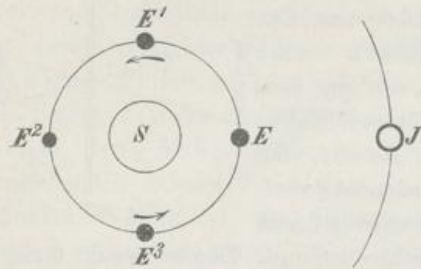


Fig. 64.

finsterungen größer, nähert sie sich dem Jupiter, so wird es kleiner. Ist z. B. die Erde im Punkte  $E^2$  ihrer Bahn, so tritt die Verfinsterung desselben Jupitermondes ca. 1000 Sekunden später ein als in dem (hypothetischen) Falle, daß die Erde in  $E$  stehen geblieben wäre. Dies kann nur darauf beruhen, daß das Licht jetzt 1000 Sekunden mehr braucht, um zur Erde zu gelangen, die jetzt um den Durchmesser der

Erdbahn, 296 300 000 km, weiter vom Jupiter entfernt ist als im ersten Falle.

Die Lichtgeschwindigkeit ergibt sich dann nach der Formel  $v = \frac{s}{t}$  zu 296 300 km in 1 Sekunde.

Ein gleiches Resultat erhält man nach der Methode von BRADLEY, die auf der Aberration<sup>1</sup> des Lichtes der Fixsterne beruht.

Stände nämlich die Erde still, so würde das Licht des Fixsterns  $a$  (Fig. 65) in gerader Linie die Netzhaut des Beobachters, etwa in  $b$ , treffen.

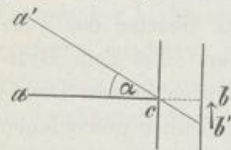


Fig. 65.

Da sich aber die Erde (in der Richtung des Pfeils) fortbewegt, während das Licht von der vorderen bis zur hinteren Fläche des Auges geht, so fällt der Strahl nach  $b'$ . Der Stern wird also in der Verlängerung von  $b'c$ , etwa in  $a'$  gesehen, macht daher die scheinbare Bewegung (Aberration) von  $a$  nach  $a'$ . Mithin legt das Licht den Weg  $b'c$  in derselben Zeit zurück, wie die Erde den Weg  $b'b$ . Es ist also  $v'$  (Geschwindigkeit des Lichtes):  $v$  (Geschwindigkeit der Erde) =  $b'c : b'b = \frac{1}{\sin \alpha}$ .  $v$  beträgt ca. 30 km,  $\alpha$ , der sogenannte Aberrationswinkel,  $20,45''$ ; daraus läßt sich  $v'$  berechnen.

FIZEAU gelang es dann auch, die Lichtgeschwindigkeit auf der Erde selbst zu bestimmen.

Er ließ durch eine in einem Fernrohr  $45^\circ$  zu dessen Achse geneigte unbelegte Glasplatte ein seitlich hereinkommendes Lichtbündel so reflektieren, daß es in die Achse des Fernrohrs fiel und durch die Lücken eines daselbst befindlichen exzentrisch angebrachten Zahnrades hindurch zu einem ca.  $8\frac{1}{3}$  km entfernten Fernrohr sich fortpflanzte, in diesem an einem Spiegel reflektiert wurde, wieder durch die Zahnücken hindurchging und schließlich ins Auge des Beobachters am hinteren Ende des ersten Fernrohrs gelangte. Letzterer sah den Lichtpunkt, von dem das Strahlenbündel ausging, wenn das Rad stillstand oder nur langsam gedreht wurde, weil eben der zurückkehrende Lichtstrahl das Rad passierte, bevor ein Zahn an die Stelle der vorangehenden

<sup>1</sup> *aberro* abirren, abweichen.

Lücke getreten war. Drehte man aber das Rad so rasch, daß die Zeit eines Hin- und Herganges der Lichtstrahlen genau der Zeit entsprach, in der ein Zahn an Stelle der vorangehenden Lücke trat, so verschwand der Lichtpunkt. Bei einem Rad mit 720 Zähnen und 720 Lücken geschah dies bei 12,5 Umläufen in 1 Sekunde. Diese Zeit betrug somit  $\frac{1}{1440 \cdot 12,5} = \frac{1}{18000}$  Sekunde; in dieser Zeit legte das Licht die Entfernung  $16\frac{2}{3}$  km zurück, woraus sich eine Geschwindigkeit zu  $18000 \cdot 16\frac{2}{3} = 300000$  km ergab.

## B. Reflexion des Lichtes (Katoptrik).

§ 110. **Allgemeine Gesetze der Reflexion.** Körper mit rauhen Oberflächen zerstreuen das auf sie fallende Licht nach allen Seiten und werden dadurch selbst sichtbar (z. B. Mond, Planeten etc.). Ihnen gegenüber stehen die Spiegel, glatte Flächen, welche ein Bild des lichtaussendenden Körpers entwerfen. Unter Bild eines Punktes versteht man nämlich den Punkt, an dem die von jenem ausgehenden Lichtstrahlen sich wieder vereinigen. Da nun ein Gegenstand aus vielen Punkten zusammengesetzt gedacht werden kann, ist die Größe seines Bildes durch die Bilder seiner äußersten Punkte bestimmt. Wenn sich nun die Lichtstrahlen wirklich vor dem Spiegel schneiden, so daß das Bild auch objektiv nachzuweisen ist, indem man es z. B. auf einem Schirm auffängt, so heißt es reell. Vereinigen sich aber die Strahlen nicht wirklich, sondern liegt der Punkt, von dem sie scheinbar ausgehen, hinter dem Spiegel, so heißt das Bild virtuell oder imaginär. Ein solches, wie es z. B. Planspiegel liefern, kann man natürlich nicht auffangen. Reelle Bilder sind stets umgekehrt, virtuelle aufrecht. Betreffs der Spiegel sei noch bemerkt, daß die gewöhnlichen Spiegel so hergestellt werden, daß eine Glasplatte auf der Rückseite mit einer Schicht von Zinnamalgam belegt wird. Weil aber sowohl an dieser wie an der Vorderfläche Reflexion stattfindet, sind die Metallspiegel vorzuziehen. — Die Hauptsätze der Reflexion sind noch einmal folgende [cf. § 63]:

- 1) Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.
- 2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

§ 111. **Planspiegel.** Ebene spiegelnde Flächen erzeugen Bilder, die dem Gegenstand symmetrisch sind und so weit hinter dem Spiegel liegen, wie der Gegenstand vor ihm. Dieselben sind also virtuell

<sup>1</sup> *virtus* Kraft, Wirkung; also Phänomene, die wie Bilder wirken, ohne durch Vereinigung von Lichtstrahlen entstanden zu sein.