



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1866

Dritter Abschnitt. Brechung von Schwingungen.

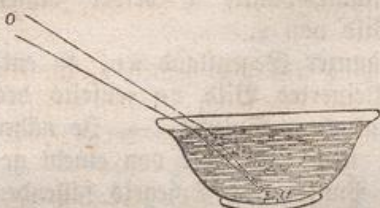
[urn:nbn:de:hbz:466:1-73841](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73841)

Dritter Abschnitt.

Brechung von Schwingungen.

In jeder nach Dauer und Weite bestimmten Schwingung eines bestimmten Theiles eines gewissen Stoffes liegt eine bestimmte Schwingungskraft.

Treffen nun schwingende Stofftheile plötzlich auf einen anderen Stoff, so kann statt oder neben der Zurückwerfung der Schwingungen eine Uebertragung der Kraft und eine Anregung zu neuen oder Fortsetzung der alten Schwingungen stattfinden. Wird hierbei die Schwingungsrichtung plötzlich verändert, wie es bei einem plötzlichen Uebergange aus einem Stoffe in einen anderen geschieht, so nennt man diese Erscheinung eine Brechung.

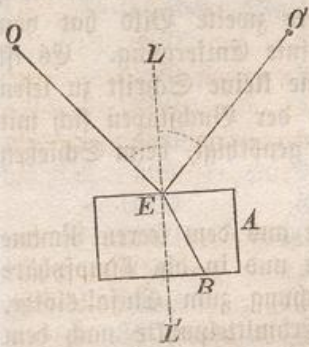


(Fig. 295).

Legt man auf den Boden eines leeren undurchsichtigen Gefäßes (Fig. 295) ein kleines Geldstück a, hält das Auge o seitwärts oberhalb so, daß der Rand das Geldstück soeben bedeckt und gießt dann in das Gefäß Wasser, so wird a sichtbar, ohne daß man das Gefäß hinab oder das Auge herauf bewegt hat; es ist, als wenn das Geldstück gehoben worden wäre, denn wir sehen einen Gegenstand stets in der Richtung, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen unmittelbar unser Auge treffen. Wenn die von a im Wasser fortgehenden Strahlen bis ans Niveau den unten gezeichneten Gang nehmen, so müssen sie von da an sich vom Wasser an in der Luft darüber tiefer richten, um o zu treffen. Die Strahlen entfernen sich also, wenn sie aus dem Wasser in die Luft übergehen, von dem durch den Uebergangspunkt gezogenen angenommenen Lothe.

Hält man einen graden Stab schräge zum Theil in Wasser und sieht ihn von der Seite an, so erscheint er von der Wassergränze an gebrochen, indem der im Wasser befindliche Theil höher zu liegen scheint, dabei aber noch grade ist. Je tiefer also ein Punkt des Stabes liegt, um so mehr erscheint er gehoben.

Läßt man durch eine kleine Oeffnung O (Fig. 297) eines Fensterladens ein dünnes Bündel von Sonnenstrahlen auf die Oberfläche eines Glasgefäßes A mit Wasser im Punkte E schräge auffallen, so gehen diese Strahlen im Wasser nicht in derselben Richtung wie in der Luft fort, sondern sie nähern sich dem durch den Uebergangspunkt E auf der Wasserfläche gezogenen Lothe EL' und gehen etwa in der Richtung EB im Wasser fort. In diesem Falle ist der Winkel, welchen der ankommende Strahl OE mit dem Einfallslothe LE bildet, d. i. der



(Fig. 296.)

Einfallswinkel, größer, als der, welchen der gebrochene Strahl EB mit dem verlängerten Lothe, also mit EL' , bildet und welcher der Brechungswinkel heißt. Bei staubiger Luft und trübem Wasser kann man den Gang der Strahlen leicht erkennen.

Es liegen also hier zwei verschiedenartige Fälle vor:

- 1) geht das Licht aus Luft in Wasser (aus einem Mittel in ein dichteres), so nähert es sich dem Einfallslothe oder wird zum Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist größer, als der Brechungswinkel);
- 2) geht das Licht aus Wasser in Luft (aus einem Mittel in ein dünneres), so entfernt es sich vom Einfallslothe oder es wird vom Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist kleiner, als der Brechungswinkel).

Diese beiden Gesetze gelten nicht blos für die beiden genannten, sondern für alle Stoffe und der Grad der Brechung ist für dieselben Stoffe, wenn sie auch übrigens unverändert bleiben, stets derselbe, für verschiedene aber verschieden.

Denkt man sich von E aus auf dem einfallenden Strahle EO und auf dem gebrochenen EB gleiche Stücke genommen und von ihren Endpunkten auf das Einfallslot LL' die beiden Perpendikel gefällt, so geben sie für die zwei bestimmten Stoffe, aus welchem und in welchem der Strahl tritt, das Brechungsverhältniß dieser Stoffe an: es ist für das Licht aus Luft in Wasser 4 : 3, aus Wasser in Luft 3 : 4, aus Luft in Glas 3 : 2. Den Quotienten aus dem Verhältnisse der die Brechung angehenden Zahlen nennt man den Brechungsquotienten; er ist für den:

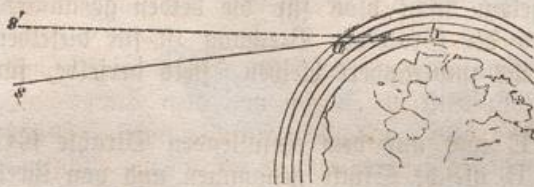
| | | | |
|-----------------------|----------|--------------------------------|-------|
| Leeren Raum | 1,000000 | Kalkspath gew. Br. | 1,654 |
| Wasserstoff | 1,000138 | Kalkspath ungew. Br. | 1,483 |
| Sauerstoff | 1,000272 | Kronglas | 1,503 |
| Eis | 1,308 | Bergkrystall | 1,547 |
| Wasser | 1,336 | Flintglas v. Frauenhofer . . . | 1,642 |
| Alkohol | 1,375 | Diamant | 2,500 |

Der Diamant hat unter allen Körpern die stärkste Kraft das Licht zu brechen und der Kalkspath, wie noch einige andere Krystalle, haben das Vermögen, das Licht doppelt zu brechen, so daß man durch einen solchen Krystall von der Form eines verschobenen Würfels von einem Punkte auf Papier zwei Bilder sieht.

Bei dieser Gelegenheit will ich eine nicht häufig beobachtete Erscheinung auführen, nämlich die, daß mein rechtes Auge, ohne irgend eine Verschiedenheit von dem anderen äußerlich zu zeigen, ebenfalls dop-

peltbrechend ist, denn ich sehe einen kleinen Punkt in der Entfernung von etwa 9 Zollen doppelt: das etwas mattere zweite Bild hat von dem Hauptbilde in diesem Abstände gegen 1 Linie Entfernung. Es ist also klar, daß ich mit diesem Auge allein eine kleine Schrift zu lesen nicht im Stande bin, weil die zweiten Bilder der Buchstaben sich mit den Hauptbildern verlaufen; ich bin also auch genöthigt, beim Schießen das linke Auge anzuwenden.

Die Refraktion. Auch wenn das Licht aus dem leeren Raume kommt, d. h. durch den Weltäther gegangen ist und in die Atmosphäre der Erde gekommen ist, erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe, d. h. zu der graden Verbindungslinie vom Erdmittelpunkte nach dem Punkte, in welchem der Lichtstrahl die Atmosphäre trifft. Da aber die Dichtigkeit derselben nicht eine gleichmäßige ist, sondern nach der Erdoberfläche hin wächst, so ist die Lichtbahn in der Atmosphäre auch nicht eine grade; sondern bei ihrem tieferen Eindringen eine mehr und mehr nach der Erde hin gekrümmte, wie es Fig. 297 andeutet, wo sa



(Fig. 297.)

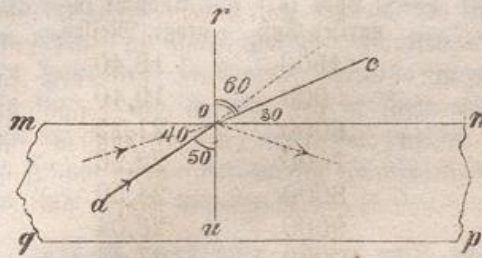
der auffallende Strahl und ab sein Weg in der schichtenförmig gezeichneten Atmosphäre sein soll. Da die Dichtigkeit der Schichten nicht schroff wechselt, sondern unmerklich übergeht, so ist ab nicht gebrochen, sondern gekrümmt. Ist in b das Auge eines Beobachters, so sieht es den von s, z. B. der Sonne, ausgehenden Strahl nicht in s, sondern in der Richtung bs', also höher. Diese Erhebung eines Gestirnes über den Horizont des Beobachtungsortes beträgt am Horizonte so ziemlich den Sonnendurchmesser, so daß sie bei ihrem Aufgange so eben mit ihrem unteren Rande den Horizont zu verlassen scheint, während sie in Wirklichkeit mit ihrem oberen denselben erst berührt. Dasselbe gilt vom Monde. Je weiter sich ein Gestirn erhebt, desto weniger weit ist der Weg seiner Strahlen durch die Atmosphäre, desto weniger wird es durch diese sogen. Refraktion von seinem wahren Orte abgelenkt und nur im Scheitelpunkte oder Zenithe sehen wir es ohne Ablenkung. Der Wechsel in der Dichtigkeit der Atmosphäre bringt auch eine Veränderung in der Strahlenbrechung hervor, was für genaue astronomische Beobachtungen wichtig ist.

Fernsicht. Wenn auf die durch die Atmosphäre bewirkte Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrer gradlinigen Bahn keine Rücksicht genommen wird, so gibt die folgende Tabelle an, wie weit man von einem erhöhten Standpunkte aus rings um sich sehen kann oder wie lang die bis an den Horizont gezogenen Berührungslinien sind.

| Höhe in pariser Fuß. | Aussicht in geogr. Meilen. | Höhe in pariser Fuß. | Aussicht in geogr. Meilen. |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 100 | 2,75 | 4500 | 18,40 |
| 200 | 3,88 | 5000 | 19,40 |
| 300 | 4,75 | 6000 | 21,25 |
| 400 | 5,50 | 7000 | 22,96 |
| 500 | 6,17 | 8000 | 24,50 |
| 1000 | 8,66 | 9000 | 26,04 |
| 1500 | 10,62 | 10000 | 27,44 |
| 2000 | 12,30 | 12000 | 30,06 |
| 2500 | 13,72 | 14000 | 32,50 |
| 3000 | 15,04 | 16000 | 34,70 |
| 3500 | 16,25 | 18000 | 36,80 |
| 4000 | 17,36 | 20000 | 38,80 |

Für dazwischen liegende Höhen läßt sich die Fernsicht durch Einschaltung leicht berechnen. Sie ist wegen der Refraktion stets noch etwas zu vergrößern. Diese Betrachtung ist bei der Anlage von Leuchttürmen wichtig, um ihnen die für den betreffenden Ort angemessene Höhe zu geben.

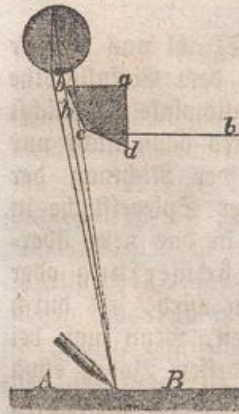
Die gänzliche Zurückwerfung. Geht ein Strahl aus Wasser oder Glas in die Luft über, so entfernt er sich von dem Einfallslothe oder der Brechungswinkel ist größer, als der Einfallswinkel. Wächst nun der letztere, so wächst auch der erstere und es wird dann nicht nur der Fall eintreten, daß der gebrochene Strahl in der Richtung der Trennungsfäche geht, sondern daß er wie von einer Spiegelfäche in das erste Mittel gänzlich zurückgeworfen wird, ohne in das neue überzugehen. Diese Erscheinung heißt die gänzliche Zurückwerfung oder totale Reflexion, weil dabei mehr Licht zurückgeworfen wird, als durch die besten Spiegel. Sie kann leicht beobachtet werden, wenn man bei einem ziemlich weiten Glase mit etwas Wasser, an dessen Boden etwa eine Münze liegt, das Auge hinreichend tief unter den Wasserspiegel hält. — Taucht man ein Reagentiengläschen in ein Trinkglas mit Wasser, so erscheint es, von oben betrachtet, wie Silber. Dieser Schein verschwindet, wenn man Wasser hineingießt. — Die Brechung verwandelt sich also dann in gänzliche Zurückwerfung, wenn der Einfallswinkel so groß wird, daß der Brechungswinkel größer, als 90 Grad werden müßte und dann sieht man im ersten Beispiele die Münze durch die innere Spiegelung des Niveaus sehr deutlich. Fig. 298 soll diese Umstände verdeutlichen. $mnpq$ enthalte einen dichteren Stoff, als er über der Gränzfläche mn ist, und von a aus gehe in jenem ein Lichtstrahl nach o . Hier geht er nicht in derselben Richtung fort, sondern er entfernt sich von dem Einfallslothe or , so daß der Brechungswinkel roc größer, als der Einfallswinkel aou ist; jener z. B. 60° , dieser 50° , also fehlen jenem zu einem rechten Winkel 30° , diesem 40° . Wenn nun



(Fig. 298.)

um 5° , also im ganzen um 35° , so würde co schon 5° diesseits der Trennungsebene liegen, also ebensoweit von ihr, als ao , und ao erscheint von ihr unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem es auffällt.

Die helle Kammer. Wollaston hat dieser Erscheinung eine praktisch wichtige Anwendung in der sogen. hellen Kammer (Camera lucida) gegeben.



(Fig. 299.)

welches den Lichteindruck lothrecht auf eine darunter befindliche horizontale Ebene AB versetzt.

Wenn nun der aus der Ebene ab des Prismas kommende Strahl dicht bei der Kante b austritt und man hält das Auge mit seiner Pupille, durch welche die Lichtstrahlen in das Innere des Auges dringen, auch dicht an diese Kante, so kann man nicht nur das auf der Ebene erscheinende Bild des seitlichen Gegenstandes, sondern auch ein dort befindliches Papier gleichzeitig sehen und nun jenes auf dieses unmittelbar aufzeichnen. Man hat eine ähnliche Vorrichtung auch mit einem Mikroskope in Verbindung gebracht, um recht kleine Gegenstände vergrößert abzeichnen zu können.

der Strahl ao von dem Lothe ou sich um 30° nach mo hin entfernte, so würde der gebrochene Strahl co sich der Trennungsebene um ebensoviele Grade nähern, also derselbe grade in die Trennungsebene fallen. Bewegte sich dann ao noch

In Fig. 299 ist $abcd$ der lothrechte Querschnitt eines Glasprismas, der Winkel a ist ein rechter, c ein stumpfer von 135° , b und d jeder $67\frac{1}{2}^\circ$. Kommt auf die lothrecht gedachte Fläche ad von außen ein horizontaler Strahl, so geht er ungebrochen in das Glas und in ihm in unveränderter Richtung bis auf die Ebene cd , die er unter einem Winkel von $22\frac{1}{2}^\circ$ trifft; von hier wird er unter demselben Winkel nach der Ebene bc im Innern des Glases zurückgeworfen und trifft auch sie unter $22\frac{1}{2}^\circ$, so daß eine zweite gänzliche Zurückwerfung nach ab unter einem rechten Winkel erfolgt. Hier also erst muß der Strahl in die Luft übergehen und kann von einem darüber befindlichen Auge aufgefangen werden,

Luftspiegelung. Wenn der Araber auf hohem Kameele über den brennenden Sand reitet, so befindet sich sein Auge in einer Luftschicht, welche kälter ist, als die am Boden. Es kann also der Fall eintreten, daß die von einem entfernten, in der kälteren Luft befindlichen Gegenstände kommenden Strahlen in die wärmeren Luftschichten nicht eindringen, sondern zurückgeworfen werden, und er sieht dann von ihnen ein verkehrtes Bild unterhalb, wie von einem Baume in einem horizontalen Wasserspiegel.

Unmittelbar über dem Meeresspiegel ist in warmen Gegenden die Luft öfters kälter, als in größeren Höhen. Es kann also der Fall eintreten, daß von den in jenen kälteren Schichten befindlichen Gegenständen, z. B. den Schiffen, nach den wärmeren Schichten gehenden Strahlen von hier zurückgeworfen werden und ein verkehrtes Bild in der Höhe geben, wie von einem horizontalen Spiegel darüber, wobei das Auge des Beobachters in der kalten Luftschicht sich befindet. Diese Bilder zeigen natürlich das ganze Leben und Treiben auf den Schiffen und der etwa dargestellten Landschaft, aber wegen der nicht seltenen Schwankungen der Luft in einem bunten chaotischen Durcheinander. Man hat diese feenhafte Luftspiegelung deshalb auch *fata morgana* genannt.

Der Grund für die Brechungserrscheinungen liegt in der verschiedenen Dichtigkeit des Weltäthers in verschiedenen Stoffen, wodurch eine Veränderung in der Breite und der Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen durch den neuen Stoff hervorgebracht wird. Wenn die Wellenbewegung in den neuen Stoff so eindringt, daß der Strahl der eindringenden Welle dem Einfallslothe sich nähert; so ist die Geschwindigkeit der Fortpflanzung in dem neuen Stoffe in dem Verhältnisse des Brechungsquotienten kleiner: entfernt sich aber der Wellenstrahl vom Einfallslothe, so ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in diesem Verhältnisse größer; in jenem Falle wird die Wellendimension kleiner, in diesem größer; in jenem die Fortpflanzungszeit jeder Welle größer, in diesem kleiner. Der Brechungsquotient des Lichtes aus dem Wasser in den leeren Raum ist $\frac{1000}{1336}$; daher die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 1000, wenn die im leeren Raume 1336 ist. Ist der Brechungsquotient bei Luft und Wasser $\frac{3}{4}$, und wird die Geschwindigkeit des Lichtes in jener zu 42000 Meilen angenommen, so ist sie in diesem $\frac{3}{4} \cdot 42000 = 31500$ Meilen. Die Wellen sind im Wasser kürzer als in der Luft.