



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

319. Photometrie

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

bildchen auf den beschatteten Waldboden. Bei partialer Sonnenfinsternis zeigen diese Lichtflecke eine deutlich sichelförmige Gestalt.

318. **Sehwinkel** nennt man den Winkel, welchen die von den Endpunkten des Bildchens (Fig. 297 *a b*), das unser Auge von einem äußeren Gegenstand *AB* auf der Netzhaut entwirft, nach den entsprechenden Punkten des Gegenstandes gezogenen Linien miteinander bilden. Diese Linien kreuzen sich innerhalb des Auges in dem sog. Kreuzungspunkt. Ein Gegenstand erscheint uns um so größer, je größer der Raum ist, den sein Bildchen auf der Netzhaut einnimmt; die scheinbare Größe eines Gegenstandes wird daher durch den Sehwinkel bestimmt, unter welchem er uns erscheint. Ein und derselbe Körper erscheint unter einem um so kleineren Sehwinkel, seine scheinbare Größe ist um so geringer, je weiter er sich von unserem Auge entfernt, und zwei verschiedenen großen Körper (*AB* und *A'B'* Fig. 297) erscheinen unter dem gleichen Sehwinkel, wenn ihre Entfernungen sich verhalten wie ihre Durchmesser. Kennt man die wahre Größe eines Gegenstandes, so kann man aus dem Sehwinkel auf seine Entfernung schließen, und umgekehrt, wenn die Entfernung und die scheinbare Größe bekannt ist, auf seine wirkliche Größe. Die Astronomen benutzen diese einfachen Beziehungen, um die Entfernung und die Größe der Himmelskörper zu ermitteln; man findet z. B. durch geeignete Beobachtungen, daß der Erdhalbmesser, von der Sonne aus gesehen, unter einem Sehwinkel von nur 8,76 Sekunden (man nennt diese Größe die Parallaxe der Sonne) erscheinen würde, und man berechnet daraus die Entfernung der Erde von der Sonne zu 23500 Erdhalbmesser; und nachdem diese Entfernung bekannt ist, ergibt sich aus dem Sehwinkel von 32 Minuten, unter welchem wir die Sonne sehen, deren Durchmesser 110 mal so groß wie derjenige der Erde. Dieselben Operationen, durch welche der Astronom zu diesen Ergebnissen gelangt, vollzieht unser von Jugend auf geschultes Urteil in unbewußter Weise, wenn wir die Entfernung und Größe der irdischen Gegenstände nach dem Auge mäß schätzen. Der Sehwinkel, unter welchem uns eine menschliche Gestalt oder andere Gegenstände von bekannter Größe erscheinen, gibt uns den Anhaltspunkt, um auf ihre Entfernung zu schließen, und die bekannte Entfernung wieder erlaubt uns, die wirkliche Größe der Gegenstände zu beurteilen. Da der scheinbare Durchmesser der Sonne nur $32'$ beträgt, so weichen die Sonnenstrahlen in ihrer Richtung höchstens um diesen kleinen Winkel (beiläufig $1/2^0$) voneinander ab, und können daher als nahezu unter sich parallel angesehen werden.

319. **Photometrie.** Denkt man sich um einen leuchtenden Punkt Kugelflächen beschrieben, deren Halbmesser sich verhalten wie

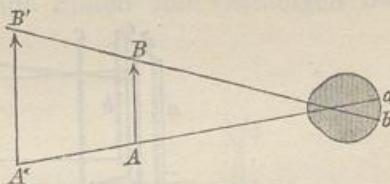


Fig. 297.
Sehwinkel.

1:2:3:4 usf., so fängt jede von ihnen, wenn sie allein vorhanden ist, das gesamte von jenem Punkt ausstrahlende Licht auf und wird dadurch erleuchtet. Da sich die Oberflächen dieser Kugeln verhalten wie die Quadrate ihrer Radien, so verbreitet sich die nämliche Strahlmenge in der doppelten, dreifachen, vierfachen usw. Entfernung auf 4, 9, 16 . . . mal so große Flächen; es müssen daher gleichgroße Flächenstückchen bei 2, 3, 4 . . . mal so großer Entfernung 4, 9, 16 . . . mal schwächer beleuchtet sein als in der einfachen Entfernung. Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche steht daher im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung vom leuchtenden Punkt.

Man bedient sich dieses Gesetzes, um zwei Lichtquellen hin-

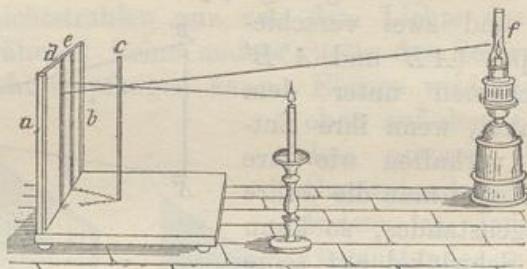


Fig. 298.

Photometer von Rumford.

sichtlich ihres Beleuchtungsvermögens oder ihrer Lichtstärke miteinander zu vergleichen und nach einer willkürlich gewählten Einheit zu messen. Zu diesem Zweck geeignete Vorrichtungen heißen Photometer; sie beruhen sämtlich darauf, daß man auf zwei dicht aneinander grenzenden Flächen durch Verschiebung der zu vergleichenden Lichtquellen gleiche Beleuchtungsstärke herstellt, was mit

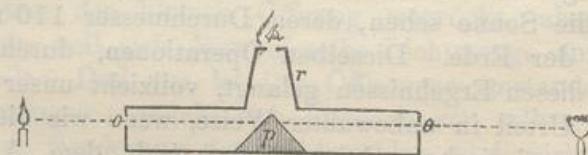


Fig. 299.

Photometer von Ritchie.

großer Genauigkeit geschehen kann, da unser Auge schon einen Unterschied von $1/60$ bis $1/100$ der Beleuchtungsstärke bemerkte. Als dann müssen sich nach dem obigen Gesetz die Leuchtkräfte der beiden Lichtquellen verhalten wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den gleichbeleuchteten Flächen.

Ungemein einfach ist das Photometer von Rumford (Fig. 298). Vor einer weißen Papierfläche *ab* steht ein undurchsichtiges Stäbchen *c*, etwa von der Dicke eines Bleistiftes. Jede der beiden Lichtquellen,

deren Leuchtkraft man vergleichen will, entwirft auf dem Schirm einen Schatten (*d* und *e*) des Stäbchens, deren jeder nur von derjenigen Lichtquelle beleuchtet wird, welche den anderen erzeugt. Durch Verschieben der einen Lichtquelle (*f*) kann man es leicht erreichen, daß beide Schatten, die man zur besseren Vergleichung dicht nebeneinander bringt, gleichhell erscheinen; die Papierfläche empfängt jetzt von beiden Lichtquellen die gleiche Erleuchtung. Nach dem obenerwähnten Satz müssen sich alsdann die Lichtstärken der beiden Flammen verhalten wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der Oberfläche. Nach Ritchie beleuchtet man mit den zu vergleichenden Lichtquellen die beiden zueinander rechtwinklig geneigten Seiten eines mit weißem Papier überzogenen hölzernen Keils *p* (Fig. 299), welcher sich in einem innen geschrägten Kästchen befindet, dessen Flächen des Keils gegenüberstehende Seiten mit Öffnungen *o o*

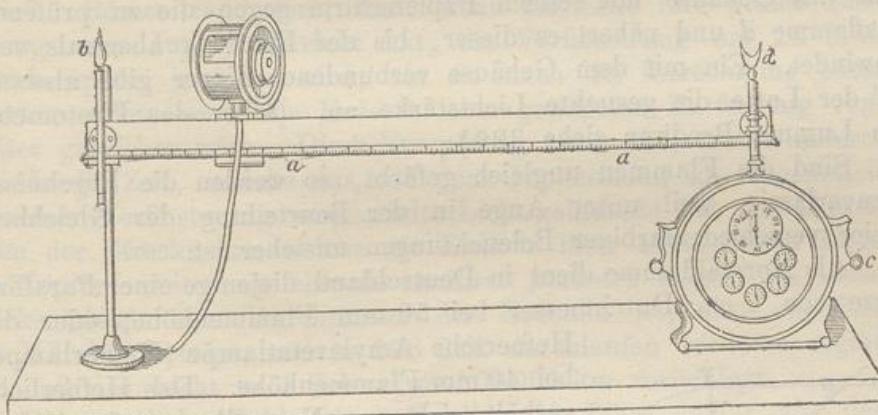


Fig. 300.
Photometer von Bunsen.

versehen sind. Durch eine Röhre *r* in der oberen Wand des Kästchens überblickt man zu gleicher Zeit die beiden Seiten des Keils, welche durch Verschiebung der Lichtquellen auf gleiche Helligkeit gebracht werden. Genauer und für technische Zwecke jetzt am häufigsten im Gebrauch ist das Photometer von Bunsen (Fig. 300). Dieses besteht im wesentlichen aus einem Papierblatt, in dessen Mitte sich ein mit Stearin gemachter Fleck befindet; dieser erscheint hell auf dunklem Grund, wenn der Papierschirm stärker von der Rückseite, dagegen dunkel auf hellem Grund, wenn er stärker von der Vorderseite beleuchtet wird. Hat man zwei Lichtquellen zu vergleichen, deren eine vor, die andere hinter dem Papierschirm aufgestellt ist, so verschiebt man entweder die eine Flamme oder den Papierschirm, bis der Fettfleck sich nicht mehr unterscheiden läßt; dies tritt ein, wenn die Beleuchtung von beiden Seiten gleich ist, und nun ergibt sich das Verhältnis der Lichtstärken wieder durch dieselbe einfache Rechnung wie oben. Um dieser Rechnung überhoben zu sein, kann man die

Latte, längs welcher der Papierschirm verschoben werden kann, und an deren Enden die Lichtquellen angebracht werden, so einteilen, daß an der Stellung des Papierschirms unmittelbar die Lichtstärke abgelesen werden kann. Eine solche Einteilung findet sich z. B. bei der in Fig. 300 dargestellten Anordnung des Bunsenschen Photometers. An einem Ende der geteilten Latte aa befindet sich die Flamme b , welche bei der Vergleichung als Einheit dient (die Normalflamme), am anderen Ende die zu prüfende Lichtquelle, etwa eine Gasflamme d . Der Gasmesser c gibt den stündlichen Gasverbrauch an. Längs der Latte ist ein zylindrisches Gehäuse verschiebbar, dessen Rückwand undurchsichtig ist, während sich in der vorderen Wand das Papierblatt mit dem Fettfleck befindet. In dem Gehäuse brennt eine kleine Gasflamme. Man nähert es bis auf 20 cm der Normalflamme und regelt dann die kleine Gasflamme so, daß der zur Normalflamme gekehrte Fettfleck verschwindet. Dann dreht man das Gehäuse mit seinem Papierschirm gegen die zu prüfende Gasflamme d und nähert es dieser, bis der Fettfleck abermals verschwindet. Ein mit dem Gehäuse verbundener Zeiger gibt alsdann auf der Latte die gesuchte Lichtstärke an. (Über das Photometer von Lummer-Brodhun siehe 326.)

Sind die Flammen ungleich gefärbt, so werden die Ergebnisse unzuverlässig, weil unser Auge in der Beurteilung der Gleichheit zweier verschiedenfarbiger Beleuchtungen unsicher ist.

Als Normalflamme dient in Deutschland diejenige einer Paraffinkerze von 2 cm Durchmesser bei 50 mm Flammenhöhe, oder die

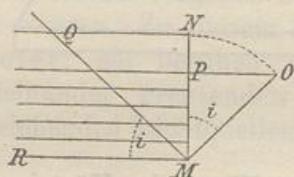


Fig. 301.
Schiefe Beleuchtung.

Hefnersche Amylazetatlampe (Hefnerlampe) bei 40 mm Flammenhöhe. Das Hefnerlicht verhält sich zur Normalkerze wie 1:1,2. Die von der internationalen Konferenz der Elektriker (1884) als Einheit der Lichtstärke festgesetzte Lichtstärke von 1 qcm geschmolzenen Platins bei seiner Erstarrungstemperatur (Viollesche Einheit) hat sich noch nicht in praktisch brauchbarer Form verwirklichen

lassen. Als Einheit der Beleuchtungsstärke wird diejenige Beleuchtung genommen, die eine Hefnereinheit in 1 m Entfernung hervorbringt (1 Meterkerze oder besser 1 Lux). Die normale Beleuchtungsstärke zum Lesen soll 50 Lux betragen. Das hygienische Minimum für Arbeiten mit den Augen ist 10 Lux.

Jedes der beschriebenen Photometer kann auch umgekehrt dazu dienen, das obige Grundgesetz durch Versuche zu bestätigen, indem man z. B. nachweist, daß vier sehr nahe beieinander stehende Kerzenflammen in der doppelten Entfernung dieselbe Erleuchtung hervorbringen wie eine Flamme in der einfachen Entfernung.

Bisher wurde vorausgesetzt, daß die zu beleuchtende ebene Fläche MN (Fig. 301) von den Strahlen senkrecht oder nahezu senkrecht getroffen werde; wird sie um den Winkel i in die Lage MO gedreht, so wird sie nur noch von

einem Strahlenbündel getroffen, dessen Querschnitt MP sich zur ganzen Fläche MN oder MO verhält wie $\cos i : 1$. Der Winkel i , welcher der nämliche ist wie derjenige, den die Richtung der einfallenden Strahlen mit der auf MO erichteten Senkrechten MQ , dem Einfallslothe, bildet, heißt der Einfallsinkel. Die Beleuchtungsstärke durch schief einfallende Strahlen ist also dem Kosinus des Einfallsinkels proportional.

320. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts ist so ungeheuer groß, daß es die größten irdischen Entfernung, auf welche Lichtsignale reichen, fast augenblicklich durchläuft. Der dänische Astronom Olaf Römer (1676) war der erste, welcher sie durch Beobachtung himmlischer Lichtsignale ermittelte. Der größte Planet unseres Sonnensystems, Jupiter, wird von Monden umkreist, welche bei jedem ihrer Umläufe, indem sie in den von dem Planeten hinter sich geworfenen Schatten treten, eine Verfinsterung erleiden. Bei dem ersten (dem Jupiter nächsten) Mond beträgt die Zeit zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Verfinsterungen 42 Stunden 28 Min. 36 Sek. Römer fand nun, daß, wenn die Erde ihre größte Entfernung vom Jupiter erreicht hat, die Verfinsterung um 16 Min. 36 Sek. später gesehen wird, als sie nach der Berechnung hätte eintreten sollen, wenn die Erde in ihrer geringsten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre. Diese Verspätung kann aber nichts anderes sein als die Zeit, welche das von dem Jupitermond im Augenblick vor seiner Verfinsterung ausgesandte Licht gebraucht hat zum Durchlaufen der Strecke, um welche die Erde in ihrer entferntesten Lage vom Jupiter weiter absteht als in ihrer nächsten Lage. Da diese Strecke gleich dem Durchmesser der Erdbahn ist, also ungefähr 299 Mill. km beträgt, und in 996 Sek. durchlaufen wird, so ergibt sich, daß das Licht in 1 Sek. etwa 300 000 km zurücklegt.

Die nämliche Zahl leitete Bradley 50 Jahre später aus der Aberration des Lichts der Fixsterne ab. Die Achse mos (Fig. 302) eines Fernrohrs AB sei nach irgend einem Himmelskörper, z. B. einem Fixstern, gerichtet, so werden sich die von dem Stern kommenden Lichtstrahlen in dem Punkt m zu einem Bilde des Sterns vereinigen. Bewegt sich nun das Fernrohr parallel mit sich selbst in einer zu den einfallenden Lichtstrahlen senkrechten Richtung $m'm$, und zwar so, daß es den Weg $m'm$ zurücklegt in der Zeit, in welcher das Licht die Strecke om durchläuft, so werden sich die am Anfang

dieser Zeit bei o eingedrungenen Lichtstrahlen, unbekümmert um die Bewegung des Fernrohrs, zwar immer noch in dem nämlichen Punkt m des Raumes vereinigen; aber an diese Stelle, welche am Anfang jener Zeit von dem Mittelpunkt des Gesichtsfelds eingenommen war, wird im Augenblick der Vereinigung der Strahlen der seitlich gelegene Punkt m' des Gesichtsfelds getreten sein. Das Bild des Sterns wird demnach infolge der Bewegung des Fernrohrs an einer Stelle des

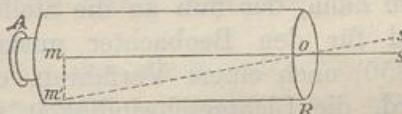


Fig. 302.
Aberration.