Der Begriff der Helligkeit in der Astronomie

Autor(en): **Schürer, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **- (1957)**

Heft 55

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-900353

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Der Begriff der Helligkeit in der Astronomie

Von Prof. Dr. M. SCHÜRER, Bern

Vorbemerkung: Um Wünschen aus dem Leserkreis zu entsprechen, werden mit diesem und dem folgenden Artikel einige viel gebrauchte Begriffe wie Sternhelligkeit, Leuchtkraft, Spektraltyp usw. kurz erläutert.

Die physikalische Wirklichkeit wird unmittelbar durch die Sinne wahrgenommen. Es ist deshalb naheliegend, die Stärke der Sinnesempfindungen als Mass für die, die Empfindungen hervorrufenden, physikalischen Reize heranzuziehen. Im Laufe der Entwicklung versucht man sich dann von diesen subjektiven Maßstäben zu lösen und ein objektives, vom beobachtenden Subjekt unabhängiges Mass zu gewinnen, wobei man aber immer noch eine gewisse Anlehnung an das subjektive Mass bestehen lässt. Dieser Prozess des Uebergangs vom Subjektiven zum Objektiven vollzieht sich zum Teil recht langsam, und als klassisches Beispiel dürfen wir den astronomischen Helligkeitsbegriff betrachten, wo heute noch oft Empfindung und Reiz nicht genügend auseinandergehalten werden.

Die Einteilung der Sterne in Grössenklassen, wie wir sie erstmals im Almagest des Ptolemäus finden, geschah rein nach der Stärke der Helligkeitsempfindung. Die Sterne wurden in sechs Helligkeitsklassen eingeteilt, die hellsten in die 1. Klasse, die schwächsten, noch von blossem Auge sichtbaren, in die 6. Klasse. Diese Einteilung blieb im wesentlichen so bis zur 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts. Erst damals begann man sich für die hinter den Helligkeitsempfindungen stehenden physikalischen Reize zu interessieren, und die Masse für die Sternhelligkeiten zu objektivieren.

Im allgemeinen ist die Ursache einer Lichtempfindung der von einer Lichtquelle ausgehende Lichtstrom, der durch unsere Augenpupille ins Auge tritt. Es können aber nebenbei bemerkt auch andere Reize Lichtempfindungen hervorrufen, wie beispielsweise ein mechanischer Druck oder Schlag aufs Auge. Wir wollen nur punktförmige Lichtquellen betrachten, wie dies praktisch alle Fixsterne für unsere Augen sind. Von diesen Lichtquellen geht nach allen Richtungen ein Lichtstrom aus.

Als Grundbegriff der Photometrie wählen wir die Lichtstärke J. Von einer Lichtquelle mit der Lichtstärke 1 geht in den Raumwinkel 1 der Lichtstrom 1 aus, oder von einer Lichtquelle mit der Lichtstärke J in den Raumwinkel ω der Lichtstrom $\Phi = J\omega$. Fällt dieser Lichtstrom senkrecht auf ein Flächenelement σ, so erzeugt er dort eine Beleuchtungsstärke

$$b = \Phi/\sigma$$

oder, da $\sigma = r^2\omega$ ist, folgt auch

$$b = J/r^2.$$

Diese letzte Gleichung drückt das photometrische Grundgesetz aus: die Beleuchtungsstärke ist proportional zur Lichtstärke und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung. Wir haben es hergeleitet aus der stillschweigenden Annahme der Erhaltung des Lichtstromes: Ist ω und J konstant, so ist es auch der Lichtstrom Φ, ganz unabhängig von der Entfernung von der Lichtquelle. (Wir vernachlässigen damit jegliche Absorption.)

Die Einheit der Lichtstärke wird definiert durch die Strahlung eines schwarzen Körpers *) von der Temperatur des erstarrenden Platins (2043 °K = 1770 ° C). 1 cm^2 dieses schwarzen Körpers strahlt senkrecht zur Fläche 60 neue Kerzen (NK) aus. Die Beziehung zwischen der alten Einheit der Lichtstärke, der Hefnerkerze (HK) und der neuen Kerze ist 1 NK = 1,11 HK. Die Einheit des Lichtstroms wird von der Einheit der Lichtstärke in den Raumwinkel 1 ausgestrahlt und heisst Lumen. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das Lux = 1 Lumen pro m^2.

Fällt der Lichtstrom einer Lichtquelle durch die Fläche der Augenpupille ins Auge, so wird eine Lichtempfindung hervorgerufen. Der äussere Reiz einer Lichtempfindung ist demnach physikalisch ein Lichtstrom. Die quantitativ abgeschätzte Empfindungsstärke ist nun aber keineswegs auch nur annähernd proportional zum Lichtstrom und hängt zudem noch sehr stark von den äusseren Umständen ab, in denen sich das Auge befindet. Es ist wohl allgemein bekannt, dass sich das Auge durch Erweiterung oder Verengung der Augenpupille dem allgemeinen Helligkeitszustand anpasst. Aber auch die Empfindlichkeit der Sehnerven selbst hängt davon ab, wie stark die allgemeine Helligkeit der Umgebung ist. Man nennt dieses Anpassen Adaptieren. Dass wir am Tage die Sterne nicht sehen, die ja auch dann in denselben Raumwinkel den gleichen Lichtstrom aussenden, rührt von allen diesen Anpassungen unserer Augen an die äusseren Umstände her.

Die Empfindungsstärke selbst bleibt nur vage in der Erinnerung, so dass es kaum möglich ist, etwa zwei Empfindungsstärken zweier verschiedener Abende auch nur als gleich zu beurteilen. Es erscheint unter diesen Umständen fast hoffnungslos, auch nur annähernd quantitativ aus den Empfindungsstärken auf die Reize zu schliessen. Wesentlich günstiger werden jedoch die Verhältnisse, wenn man bei gleichem Augenzustand gleichzeitig oder nur in kurzen zeitlichen Abständen zwei Empfindungen vergleicht und von diesem Vergleich auf das Verhältnis der entsprechenden Reize schliesst. Es zeigt sich, dass bei gleichem Augenzustand und

*) Ein schwarzer Körper emittiert alle spektralen Komponenten theoretisch gemäss dem Planckschen Gesetz und kann durch einen Hohlraum realisiert werden; seine Strahlung heisst daher auch Hohlraumstrahlung.

in normalen Empfindungsbereichen die Empfindungszunahme proportional der Reizzunahme dividiert durch den Reiz ist. Es ist dies eine bei allen Sinnesempfindungen auftretende Gesetzmässigkeit und ist als psycho-physisches Grundgesetz von Weber-Fechner bekannt. Es lässt sich, wie mathematisch leicht zu zeigen ist, auch in der Form ausdrücken: Bilden die Reize eine geometrische Folge, so stellen die entsprechenden Empfindungsstärken eine arithmetische Folge dar, oder noch anders: Die Empfindungsstärke ist ein logarithmisches Mass des Reizes, d. h.

$$E - E_0 = k \log R,$$

wo E die Empfindungsstärke, E_0 und k Konstanten und R die Reizstärke bedeuten.

Unbewusst hat man nun schon im Altertum nach diesem Gesetz den ins Auge fallenden Lichtstrom in (Empfindungs-) Grössenklassen eingeteilt. Bezeichnet man mit Φ_1 und Φ_2 die ins Auge fallenden Lichtströme zweier Sterne und mit m_1 bzw. m_2 deren Grössenklassen, so gilt, wie Pogson 1854 festgestellt hat, ungefähr:

$$m_2 - m_1 = -2{,}5 \log \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$$

Die obige Konstante k ist danach im Falle der Sterngrössen —2,5. Das negative Vorzeichen rührt von dem Umstand her, dass die helleren Sterne mit kleineren Zahlen belegt werden.

Da nur das Verhältnis der beiden Lichtströme Φ_1 und Φ_2 in die Gleichung eingeht und diese von der Pupillenöffnung des Auges abhängig sind, führt man an Stelle der Lichtströme die Beleuchtungsstärken b ein, die man durch Division durch die Fläche der Augenpupille aus den entsprechenden Lichtströmen erhält. Bezeichnet man diese Fläche mit σ, so ist

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{\Phi_2/\sigma}{\Phi_1/\sigma} = \frac{b_2}{b_1}$$

und unsere Beziehung geht über in:

$$m_2 - m_1 = -2{,}5 \log \frac{b_2}{b_1}.$$

Die Grössenklassen können demnach auch als logarithmisches Mass der Beleuchtungsstärke angesprochen werden. Wir sind damit vom beobachtenden Auge unabhängig geworden, wenn wir von der physiologischen Bewertung der verschiedenen Spektralbereiche des Lichts noch absehen.

Da wir mit unserer Beziehung nur Differenzen von Grössenklassen bestimmen können (d. h. die Skala des Grössenklassensystems), nicht aber die Einzelwerte selbst, muss noch eine Festsetzung des Nullpunktes getroffen werden. Diese Festsetzung ist von photometrischem Katalog zu Katalog verschieden, ohne sich jedoch allzuweit vom Katalog des Ptolemäus zu entfernen. Man kann den Nullpunkt festsetzen, indem man einem bestimmten Stern eine ganz bestimmte Grössenklasse willkürlich zuordnet. So hat man beispielsweise dem Polarstern die Grössenklasse 2,15 gegeben. Später stellte sich heraus, dass unglücklicherweise der Polarstern leicht veränderlich ist. Heute wird meist das Mittel aus einer grösseren Anzahl von Sternen festgelegt und als Nullpunkt verwendet.

Wir haben nun zwei Masse für die Beleuchtungsstärke kennen gelernt, das technische in Lux und das astronomische in Grössenklassen. Russell hat die Beziehung zwischen beiden bestimmt und gefunden, dass

$$1 \text{ Lux} \sim -14^{m},18 \pm 0{,}05.$$

Um irgendeine Beleuchtungsstärke von b Lux in Grössenklassen auszudrücken, verwendet man die Gleichung

$$m = 2{,}5 \log b - 14{,}18,$$

deren Umkehrung lautet:

$$b = 10^{-0{,}4\,(m + 14{,}18)}$$

Diese Beziehung erlaubt uns, die scheinbaren Helligkeiten der Sterne anschaulich durch technische Einheiten darzustellen. Bringt man eine Lichtquelle von der Lichtstärke einer NK in einen Abstand von r Metern, so ist deren Beleuchtungsstärke

$$b = \frac{1}{r^2} = 10^{-0{,}4\,(m + 14{,}18)} \text{ Lux.}$$

Die Relation zwischen der Entfernung und der scheinbaren Helligkeit einer NK in Grössenklassen lautet:

$$\log r = 0{,}2\, m + 2{,}836.$$

Daraus lässt sich folgende kleine Tabelle berechnen:

m	r
0 + 5 n	685 . 10^{n} Meter
1 + 5 n	1086 . 10^{n}
2 + 5 n	1722 . 10^{n}
3 + 5 n	2729 . 10^{n}
4 + 5 n	4325 . 10^{n}

Ein Stern 7. Grösse, der von guten Augen gerade noch gesehen werden kann, entspricht danach der scheinbaren Helligkeit einer NK in 17 220 Metern Abstand. Die Beleuchtungsstärke ist in diesem Fall:

$$b = 10^{-0,4\,(7+14,18)} = 10^{-8,472} = 3,4 \,.\, 10^{-9} \text{ Lux.}$$

Nimmt man die Fläche der Augenpupille zu 40 mm^2 an, so erhält man als minimalen Lichtstrom, auf den unser Auge noch anspricht:

$$3,4 \,.\, 10^{-9} \times 4 \,.\, 10^{-5} \approx 10^{-13} \text{ Lumen.}$$

Die schwächsten Sterne, die heute mit dem 5-Meter-Spiegel photographisch beobachtet werden können, sind etwa von der 23. Grössenklasse oder gleich hell wie 1 NK in 27 290 km Entfernung.

Was man von einem Stern im Grunde genommen gern wissen möchte, ist aber weniger die Beleuchtungsstärke, die er zufällig auf dem kleinen Planeten Erde irgendwo im Raume hervorruft, sondern seine Lichtstärke, oder wie der Astronom sich ausdrückt, seine Leuchtkraft. Man führt hiefür als Mass die sog. absolute Grösse ein und definiert sie als diejenige Helligkeit, die der Stern in der willkürlichen Entfernung von 10 Parsec (= 32,6 Lichtjahren) haben würde. Nennen wir die entsprechende Beleuchtungsstärke B, so gilt nach dem photometrischen Grundgesetz

$$\frac{B}{b} = \frac{1}{10^2} : \frac{1}{r^2}$$

(wenn r in Parsec gemessen wird).

Bezeichnen wir weiter die absolute Grösse mit M, so erhalten wir

$$M - m = -2.5 \log \frac{B}{b} = -2.5 \,(\log r^2 - 2)$$

oder

$$\underline{M - m = 5 - 5 \log r.}$$

Die Ueberlegung, die uns zur absoluten Grösse geführt hat, ist physikalisch nicht ganz einwandfrei. Man möchte doch, wie schon gesagt, ein Mass für die Leuchtkraft oder die Lichtstärke kennen. Nun ist die absolute Helligkeit tatsächlich eine solche, aber man hat dafür den indirekten Weg über eine Beleuchtungsstärke in einer Einheitsentfernung eingeschlagen. Der direkte Weg führt über die Beziehung zwischen Beleuchtungsstärke und Lichtstärke

$$J = b \,.\, r^2.$$

Wir messen nun auch die Lichtstärken in logarithmischem Mass und definieren:

$$M = -2.5 \log J + M_0,$$

wo M_0 eine willkürliche Konstante ist. Setzen wir für J unsere Beziehung ein, so erhalten wir

$$M = -2.5 \log b - 5 \log r + M_0.$$

Weiter ist nach Definition der Grössenklassen

$$-2.5 \log b = m - m_0$$

und daher

$$M = m - 5 \log r + M_0 - m_0.$$

Setzt man jetzt, um den Anschluss an die Definition der absoluten Grösse zu gewinnen, die willkürliche Konstante $(M_0 - m_0)$ gleich 5, so erhält man wie oben:

$$\underline{M - m = 5 - 5 \log r.}$$

Drückt man J in Einheiten von NK aus, so erhält man für die absolute Grösse einer NK den Betrag

$$M = M_0 = -14{,}18 + 5 - 5 \log r.$$

Hierbei ist noch r = 1 Meter = $1 / 3{,}084 \cdot 10^{16}$ Parsec einzusetzen, so dass

$$\underline{M = +73{,}27.}$$

Die visuelle Leuchtkraft der Sonne beispielsweise ist +4,85. In NK ausgedrückt ergibt dies

$$\log J = 0{,}4\ (M_0 - M) = 27{,}368$$

oder

$$J = 2{,}3 \cdot 10^{27}\ \text{NK}.$$