Was Spektren über astronomische Objekte erzählen : Informationsträger Licht

Autor(en): **Brüderlin, Roger**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **66 (2008)**

Heft 346

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-897817

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

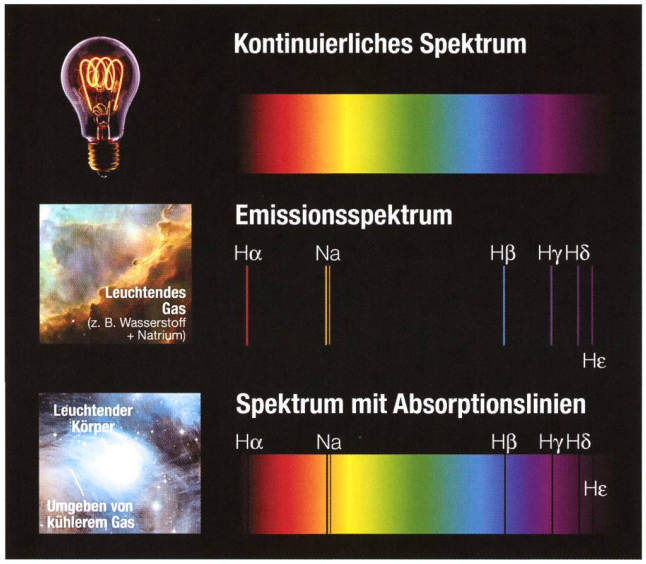
http://www.e-periodica.ch

Was Spektren über astronomische Objekte erzählen

Informationsträger Licht

Von Roger Brüderlin

Die Spektroskopie gehört zu den wichtigsten Methoden der modernen Astronomie. Denn das Licht und andere elektromagnetische Strahlung (Radiowellen, Infrarot, Röntgen- oder Gammastrahlung) sind fast die einzigen Quellen für detailliertere Informationen über weit entfernte astronomische Objekte.



Figur 1: Grundformen von Spektren: Kontinuierliches Spektrum, Emissionsspektrum und Absorptionsspektrum mit Absorptionslinien. (Grafik: Thomas Baer)

Die Astronomie nutzt zur Gewinnung von Informationen sämtliche Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums. Um die Prinzipien der Informationsgewinnung zu erläutern, beschränkt sich dieser Artikel auf das sichtbare Licht.
Zunächst muss das Licht mit geeigneten Instrumenten – Spektroskopen oder Spektrografen – aufgespaltet werden.
Dabei entstehen drei Typen von Spektren: Kontinuierliches Spektrum, Emissions- und Absorptionsspektrum (Figur 1, nähere Erklärungen im Beitrag «Die Farben der Sterne» in Orion Nr. 6/07).

Intensität und Temperatur

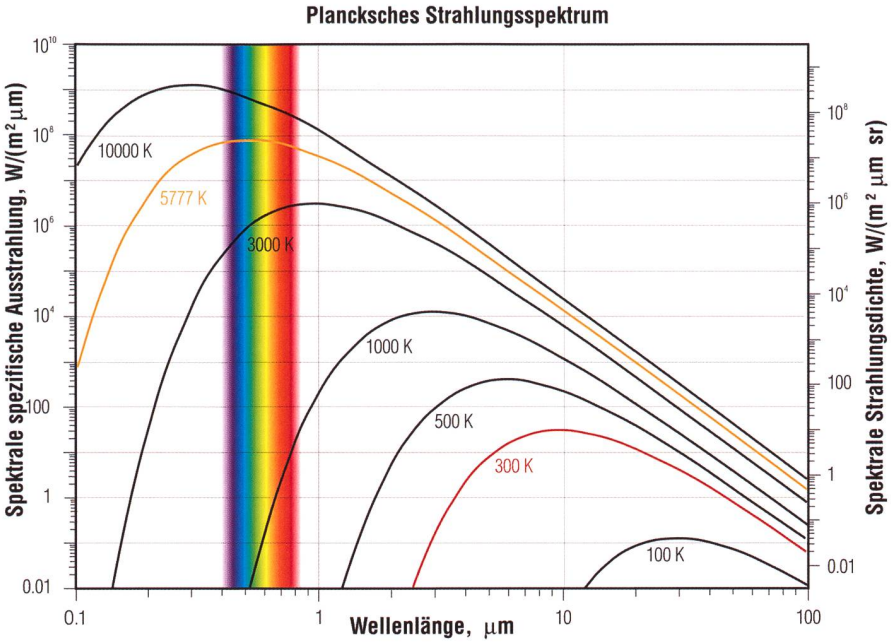
Ein Spektrum kann hinsichtlich der Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge ausgemessen werden. Hierbei entdeckte Max Planck im Jahr 1900 eine nach ihm benannte Gesetzmässigkeit, das plancksche Strahlungsgesetz. Es besagt, dass die von einem Körper abgegebene Strahlung ein Intensitätsmaximum bei einer bestimmten Wellenlänge aufweist. Die Wellenlänge dieses Maximums ist von der Temperatur des Körpers abhängig. Für die Intensitätsverteilung in einem Spektrum ergeben sich für jede Temperatur charakteristische Kurven (Figur 2 auf Seite 6). Das bedeutet, dass die Vermessung eines Sternspektrums Auskunft darüber gibt, welche Temperaturen an der Oberfläche eines Sterns herrschen. Ansatzweise kann diese Gesetzmässigkeit bereits von blossem Auge oder im Teleskop beobachtet werden: Heisse Sterne erscheinen bläulich, kühlere rötlich.

Chemische Zusammensetzung und Spektralklassen

Im Spektrum eines Sterns oder eines Nebels erscheinen charakteristische Absorptions- oder Emissionslinien, die bestimmten chemischen Elementen zugeordnet werden können (siehe auch Beitrag «Die Farben der Sterne» in Orion Nr. 6/07).
Vergleicht man die Sternspektren mit Referenzspektren aus dem Labor, so lässt sich die chemische Zusammensetzung eines Sterns bestimmen.
Bei der Untersuchung der ersten Sternspektren und des Sonnenspektrums zeigte sich bald, dass sämtliche Sterne vornehmlich aus Wasserstoff bestehen. Helium ist das zweithäufigste Element, gefolgt von Sauerstoff, Kohlenstoff und anderen. Allerdings fanden sich auch grössere Unterschiede in den Spektren. Einzelne zeigten z. B. Linien von schwereren Elementen wie Eisen oder Kalzium und ganze Liniengruppen (sog. Banden), die zu Molekülen gehören. Immer aber waren die Linien von Wasserstoff in mehr oder weniger starker Ausprägung vorhanden.
Daraus leitete Pater Secchi bereits 1865 eine erste Klassifikation der Sternspektren ab, die später mehrfach erweitert und modifiziert wurde. Grundlage für die heutige Einordnung der Spektren bildet die Harvard-Klassifikation, die 1901 in den Harvard-Annals veröffentlicht wurde. Die ursprünglich alphabetisch geordneten Bezeichnungen mussten nach weiteren Erkenntnissen umgeordnet werden, sodass heute die Basis-Sequenz OBAFGKM (Oh Be A Fine Girl Kiss Me) gültig ist. Sie wird durch weitere Klassen und mit Hilfe von Kleinbuchstaben und Zahlen weiter verfeinert (Figur 3).
Die Reihenfolge der Spektralklassen ergibt sich aus der Temperatur der Sterne. O-Sterne sind heiss und bläulich, M-Sterne kühl und rötlich.

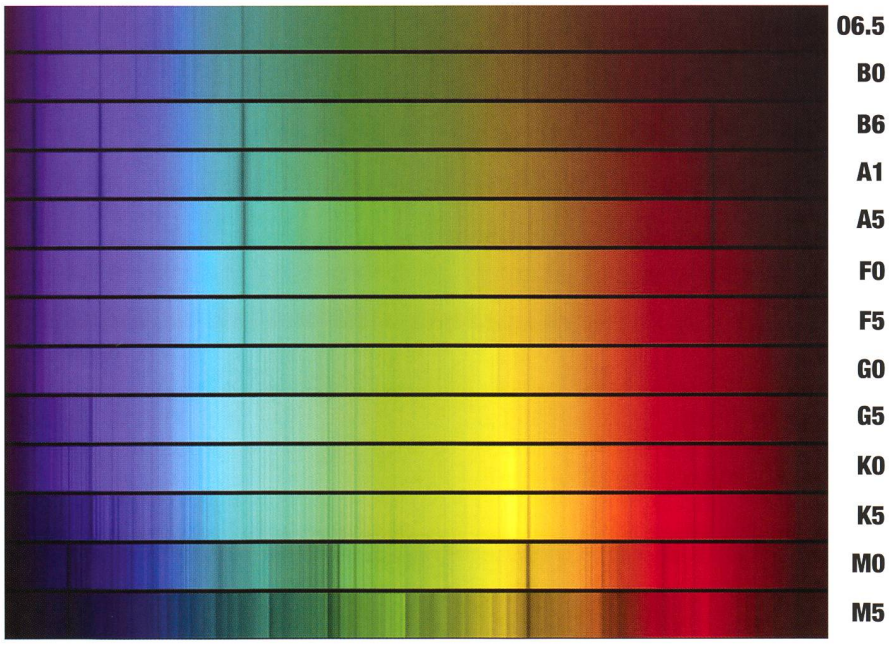
Bewegte Sterne und verschobene Linien

Nebst Temperatur und chemischer Zusammensetzung geben Spektren auch Auskunft über die Bewegung der Sterne. Dem liegt der Dopplereffekt zugrunde, den wir aus dem Alltag bestens kennen: Das Martinshorn eines Krankenwagens, der an



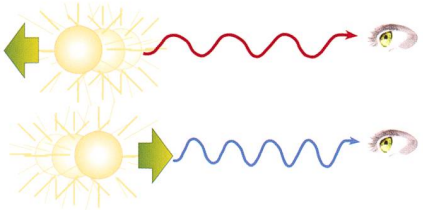
Figur 2: Plancksches Gesetz. Die Kurven geben die Strahlungsintensität in Abhängigkeit der Wellenlänge wieder. Jede Kurve gehört zu einer bestimmten Temperatur. Die gelbe Kurve zeigt die Intensitätsverteilung für die Sonne, deren Oberflächentemperatur so auf 5777 Kelvin (ca. 6000 °C) bestimmt werden kann. (Grafik: Thomas Baer)

uns vorbeibraust, klingt plötzlich tiefer. Das bedeutet, dass die Wellenlänge des Schalls vergrössert wird, wenn sich die Schallquelle vom Bebachter entfernt. Umgekehrt wird die Wellenlänge verkürzt, wenn sich die Schallquelle auf den Beobachter zu bewegt und sie klingt demzufolge höher. Analog gilt für das Licht, dass die Wellenlänge einer Lichtquelle, die sich mit hoher Geschwindigkeit auf den Beobachter zu bewegt, verkürzt wird und demzufolge in Richtung Blau verschoben erscheint, umgekehrt aber rotverschoben, wenn sich die Lichtquelle vom Beobachter entfernt (Figur 4).



Figur 3: Typische Spektren der Spektralklassen O bis M. Gut sichtbar sind die allen Spektren gemeinsamen Linien im blauen, blaugrünen und roten Bereich (Wasserstoff-Linien) sowie die Molekülbanden in den M-Spektren. Auch die Farbintensität ist gut erkennbar. Blau ist stärker bei heissen Sternen, Rot bei kühleren. (Bild: NOAO/AURA/NSF)

Betrachtet man ein Linienspektrum, so erscheinen die Linien entsprechend blau- oder rotverschoben. Aus dem Ausmass der Verschiebung lässt sich die Geschwindigkeit berechnen, mit der sich das Objekt auf den Beobachter zu bzw. von diesem weg bewegt (vgl. Figur 6 bzw. 5). Eine andere Anwendung von Dopplerspektroskopie ist die Vermessung von Doppelsternen. Aus den periodischen Verschiebungen im Spektrum eines Doppelsternsystems kann man auf die Umlaufzeit der Körper schliessen und daraus wiederum die Bahnkomponenten errechnen, auch wenn das Sternsystem optisch nicht aufgelöst werden kann (s. Figur 6).



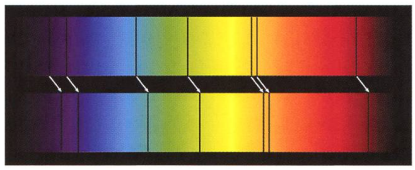
Figur 4: Rot- und Blauverschiebung beim Dopplereffekt. (Grafik: Thomas Baer)

Mit den heute möglichen Auflösungen der Instrumente lassen sich sogar leichte Pendelbewegungen von Sternen ausmachen, die von einem Begleiter umkreist werden.

Linienbreite und gespaltene Linien

Spektrallinien sind nie messerscharf auf eine Wellenlänge beschränkt. Sie haben immer eine gewisse Breite. Das hängt von verschiedenen Faktoren ab.
Die Linienbreite ist ein Hinweis auf die Häufigkeit eines Elements. Die Atome bewegen sich gegen einander, und so absorbiert nicht jedes Atom genau den exakten Energiebetrag, der theoretisch für einen Elektronenübergang benötigt wird. Je mehr Atome eines Gases vorhanden sind, desto grösser wird die Energiestreuung bei der Absorption, was zu einer Verbreiterung der Linie führt.
Linien können wegen des Dopplereffekts im Zusammenhang mit der Rotation eines Sterns verbreitert erscheinen. Die eine Seite des Sterns

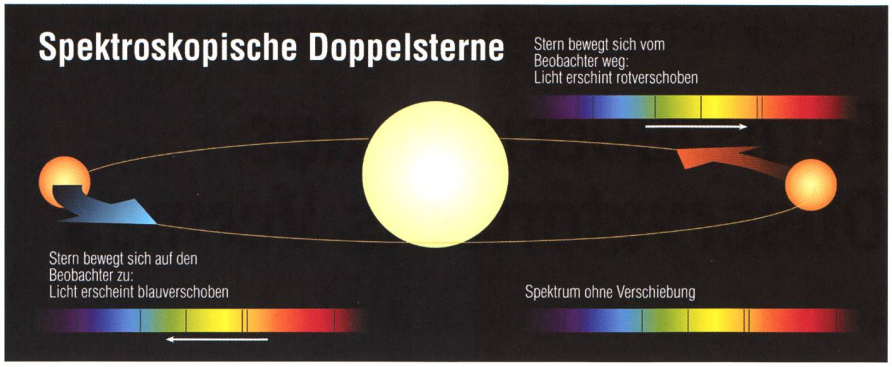
bewegt sich auf uns zu, die andere von uns weg. Das ergibt gleichzeitig eine Verschiebung aller Linien im Spektrum nach blau und nach rot, also eine Verbreiterung der Linien. Ebenfalls auf den Dopplereffekt zurückzuführen sind Linienverbreiterungen durch hohe Geschwindigkeiten der Gasteilchen, verursacht z. B. durch starke Turbulenzen im Sterngas oder im Gas eines Nebels. Schliesslich wird die Linienunschärfe auch durch heftige und häufige Zusammenstösse der Atome bei hohem Druck verursacht, da dabei die Elektronenbahnen um den Atomkern verformt werden und sich damit die Energiebeträge für die Übergänge verschieben. Die Linienbreite ist also ein Indikator für den Gasdruck. Eine Aufspaltung der Spektrallinien verursacht der quantenmechanisch bedingte Zeeman-Effekt unter dem Einfluss von starken Magnetfeldern. Besonders gut beobachtbar ist dies in Spektren von Sonnenflecken, die dort entstehen, wo starke Magnetfelder aus der Photosphäre austreten (Fig. 7).



Figur 5: Rotverschiebung von Spektrallinien (Grafik: Thomas Baer)

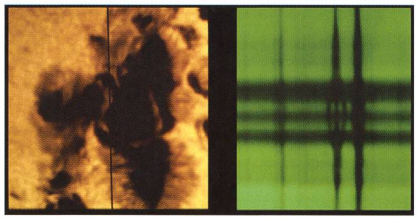
Komplexe Spektroskopie

Ein Beispiel für die Anwendung der Spektroskopie ist die Entdeckung und Erforschung des extrasolaren Planeten HD209498b, inoffiziell Osiris genannt. Die Entdeckung gelang mit Hilfe von Dopplerspektroskopie. Darauf bemerkte man, dass der Zentralstern periodisch um 1.7 % verdunkelt wird. Daraus schloss man, dass der Planet regelmässig vor der Sternscheibe vorbeizieht bzw. hinter dem Stern verschwindet.
Die günstige Lage der Umlaufbahn des Planeten wurde für weitere spektroskopische Messungen ausgenutzt. Mit dem Hubble-Teleskop untersuchte man das Licht des Sterns, das während des Transits durch die Planetenatmosphäre dringt. Dabei entdeckte man Natrium, später auch Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff. Ausserdem stellte man fest, dass die Atmosphäre des Planeten wegen der



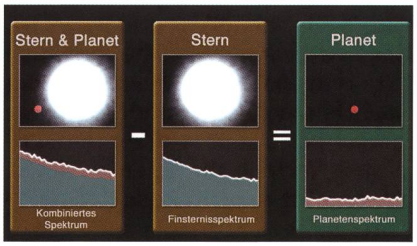
Figur 6: Dopplerverschiebung beim Umlauf eines Sterns um einen Zentralstern (Grafik nach Roger Brüderlin: Thomas Baer)

grossen Nähe zum sonnenähnlichen Zentralstern mit hoher Geschwindigkeit verdampft. Schliesslich untersuchte man mit Hilfe des Spitzer-Teleskops die Infrarot-Strahlung von Stern und Planet zusammen, sodann nur diejenige des Sterns allein. Diese Spektraldaten wurden voneinander subtrahiert, und man erhielt zum ersten Mal das Spektrum eines extrasolaren Planeten (Figur 8).

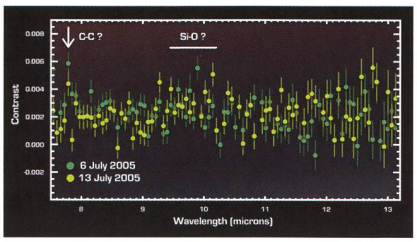


Figur 7: Links ein Sonnenfleck, rechts das Spektrum des Flecks mit aufgespalteten Spektrallinien (Bild: NOAO/AURA/NSF)

Man fand Hinweise auf Silikatstaub (SiO_2) und eine noch zu identifizierende organische Verbindung (Figur 9). Aufgrund der Spektraldaten vermutet man, dass der Planet von einer trockenen Wolkendecke umhüllt ist.



Figur 8: Subtraktion von Spektren zweier Himmelskörper. Übrig bleibt das Spektrum des Planeten. (Bild: NASA/JPL-Caltech)



Figur 9: Spektrum des extrasolaren Planeten HD209498b, aufgenommen mit dem Spitzer-Infrarot-Teleskop (Bild: NASA/JPL-Caltech/J. Richardson (GSFC))

Fazit

Das eben erläuterte Beispiel zeigt, wozu die moderne Spektroskopie heute in der Lage ist. Mit der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Instrumente darf man gespannt sein, welche überraschenden Resultate die Spektroskopie in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch zutage fördern wird.

Roger Brüderlin
Tüfwisstrasse 11
CH-8185 Winkel b. Bülach

Bibliographie

- Kaler, James B. Sterne und ihre Spektren. Spektrum akad. Verlag, 1994 (vergriffen, antiquarisch erhältlich)
- Amateurfotos von Sternspektren: http://www.epsilon-lyrae.de
- Bestellservice für Lehrpersonen: Artikel als PDF und eine PPT-Präsentation zum Thema via astronomie@fratellino.ch

Der 1. Artikel ist noch erhältlich.