

Physikalische Grundlagen der Entstehung der Linienpektren (Teil 1) : die Farben der Sterne

Autor(en): **Brüderlin, Roger**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **65 (2007)**

Heft 343

PDF erstellt am: **27.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898085>

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.

Physikalische Grundlagen der Entstehung der Linienspektren (Teil 1)

Die Farben der Sterne

■ Von Roger Brüderlin

Dass die Sterne unterschiedliche Farben haben, fällt bereits beim Beobachten des Himmels von blosssem Auge auf. Für die Astronomie hat die genaue Untersuchung der Farben der Sterne eine zentrale Bedeutung. Die einzige Information, die von weit entfernten Objekten zu uns gelangt, ist das Licht.



^ Sterne erscheinen uns nicht einfach nur als weisse Punkte am Himmel. Bei genauerem Hinsehen sind deutliche Farbunterschiede bei helleren Sternen wie Wega und Scheat schon mit freiem Auge erkennbar. Besonders schön sieht man die Farbnuancen bei den Doppelsternen Almak und Albireo. (Bilder: Thomas Baer)

Was von blosssem Auge als Farbe eines Sterns sichtbar ist, ist eigentlich ein Farbgemisch (Foto oben). Die Natur zeigt uns das bereits seit Urzeiten in Form des Regenbogens. Darin wird das weisse Licht der Sonne in seine Spektralfarben zerlegt. Ein Spektrum lässt sich im Labor

z. B. mit Hilfe eines Prismas erzeugen. Dabei wird das Licht durch Brechung in seine Spektralfarben aufgespalten.

Genau so hat Joseph von Fraunhofer im Jahre 1814 das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegt und dabei eine eigenartige Entdeckung ge-

macht: Das Spektrum war von unzähligen schwarzen Linien durchsetzt. Bereits 1802 fand der Engländer William Hyde Wollaston einige dieser Linien, hielt sie aber für Grenzlinien zwischen den Spektralfarben und schenkte ihnen keine weitere Beachtung. Fraunhofer jedoch erkannte, dass diese Linien Bestandteile des Spektrums sein mussten, denn die gleichen Linien waren auch im Spektrum des Mondes oder demjenigen von Wolken zu sehen, die das Sonnenlicht reflektieren. Was genau diese Linien zu bedeuten hatten, war zunächst unklar. Fraunhofer selbst interessierte sich v. a. für Optik und Fernrohrbau und verfolgte die entdeckten Linien nicht weiter. Erst 1859 wird klar, welche Bedeutung diese Linien haben. Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen entdeckten, dass jedes chemische Element seine ganz typischen Spektrallinien erzeugt. Damit ist das Gebiet der Spektroskopie geboren, das heute eines der wichtigsten Teilgebiete der Astrophysik darstellt. Mit der Methode der Spektralanalyse wurde es möglich, die chemische Zusammensetzung weit entfernter Objekte zu bestimmen.

Damit war aber noch nicht geklärt, wie diese Linien entstehen. Dazu waren zuerst Erkenntnisse zum Bau der Atome notwendig. Ernest Rutherford (1911) und kurz nach ihm Niels Bohr (1913) entwickelten Atommodelle, welche die Entstehung der beobachteten Linien überzeugend erklären konnten. Schliesslich gelang es erst der Quantenmechanik um 1926 die beobachteten Phänomene vollständig zu erklären.

Die Entstehung der Linienspektren

Leuchtende Gase unter hohem Druck oder glühende Festkörper und Flüssigkeiten erzeugen ein kontinuierliches Spektrum ohne Linien. Ist ein solcher leuchtender Körper von einem kühleren und dünneren Gas umgeben, so absorbiert dieses aus dem kontinuierlichen Spektrum an bestimmten, charakteristischen Stellen Licht und hinterlässt Absorptionslinien.

Beobachtet man leuchtendes Gas von relativ geringer Dichte, so sieht man in dessen Spektrum kein Kontinuum, sondern nur Emissionslinien an bestimmten charakteristischen Stellen.

Beide beobachteten Situationen erlauben es den Astronomen, Aus-

Bibliographie und Hinweis



■ Kaler, James B. *Sterne und ihre Spektren*. Spektrum akad. Verlag, 1994 (vergriffen, antiquarisch noch erhältlich)

Service für Lehrpersonen

Für Lehrpersonen und Sternwartenbetreiber, die sich mit dem Thema Spektroskopie im Unterricht oder im Rahmen eines Vortrags auf der Sternwarte befassen, können diese Seiten als pdf-Datei unter: astronomie@fratellino.ch

bestellen. Zu einem späteren Zeitpunkt ist auch eine von Roger Brüderlin zusammen gestellte Power Point-Präsentation zum Thema erhältlich. In einer nächsten orion-Ausgabe erscheint ein Beitrag, der sich mit der Interpretation von Spektren beschäftigt.

gen über die chemische Zusammensetzung der beobachteten Objekte zu machen.

Die physikalischen Grundlagen der Entstehung dieser Linien sollen nachfolgend stark vereinfacht erklärt werden.

Was ist Licht?

Licht ist physikalisch gesehen elektromagnetische Strahlung. Strahlung kann man sich modellhaft als Wellenzug vorstellen. Man spricht auch von elektromagnetischen Wellen. Diese Wellen breiten sich im-

mer mit Lichtgeschwindigkeit aus. Nebst Licht, das von unseren Augen wahrgenommen werden kann, kennen wir aus dem Alltag auch Infrarot (Wärmestrahlung), welche wir mit unserer Haut registrieren oder ultraviolette Strahlung (UV), auf welche unsere Haut mit Bräunung oder gar Sonnenbrand reagiert. Aus der Medizin ist die Röntgenstrahlung bekannt. Diese unterschiedlichen Bezeichnungen beziehen sich auf Ausschnitte aus dem gesamten Spektrum elektromagnetischer Strahlung, von dem wir mit den Augen nur einen verschwindend kleinen Teil wahrnehmen können.

Wellenlängen, Energie und Photonen

Bleibt man beim Wellenmodell, misst man den Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Wellentälern oder Wellenbergen und bezeichnet diesen Abstand als Wellenlänge (Schema auf S. 16). Je kürzer die Wellenlänge, desto grösser ist die Energie der Welle. Bleiben wir beim sichtbaren Licht, so hat rotes Licht eine grössere Wellenlänge als blaues. Damit ist blaues Licht energiereicher als rotes Licht. Das zeigt sich noch einmal am Beispiel der UV-Strahlung: Während blaues Licht unserer Haut keine Schaden zufügt, kann UV-Strahlung dank ihrer höheren Energie einen Sonnenbrand verursachen.

Licht bzw. Strahlung kann auch betrachtet werden als Strom von Lichtteilchen, so genannten Photonen. Man kann sich darunter eine Art Wellenpakete vorstellen, die mit Lichtgeschwindigkeit durch die Gegend brausen. Jedes dieser Photonen hat eine ganz bestimmte Energie, die mit seiner Wellenlänge und damit seiner Farbe zusammenhängt.

Wie entstehen die Spektrallinien?

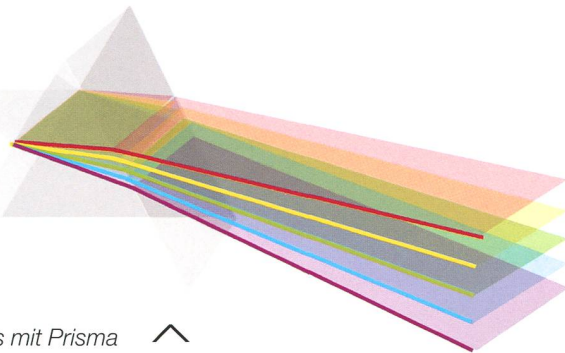
Für die Erklärung der Entstehung der Spektrallinien bleiben wir beim vergleichsweise einfachen Atommodell von Niels Bohr und betrachten das einfachste aller Atome, das Wasserstoff-Atom (chem. Zeichen H).

Gemäss der Vorstellung von Bohr besteht das Atom aus einem positiv geladenen Kern und negativ geladenen Elektronen, die den Atomkern auf kreisförmigen Bahnen umkreisen. Das H-Atom besitzt genau ein Elektron. Andere Atome können deutlich mehr Elektronen enthalten, die nach bestimmten Prinzipien auf verschiedenen Bahnen verteilt

Prisma

Bricht das weisse Sonnenlicht

Sonnenlicht

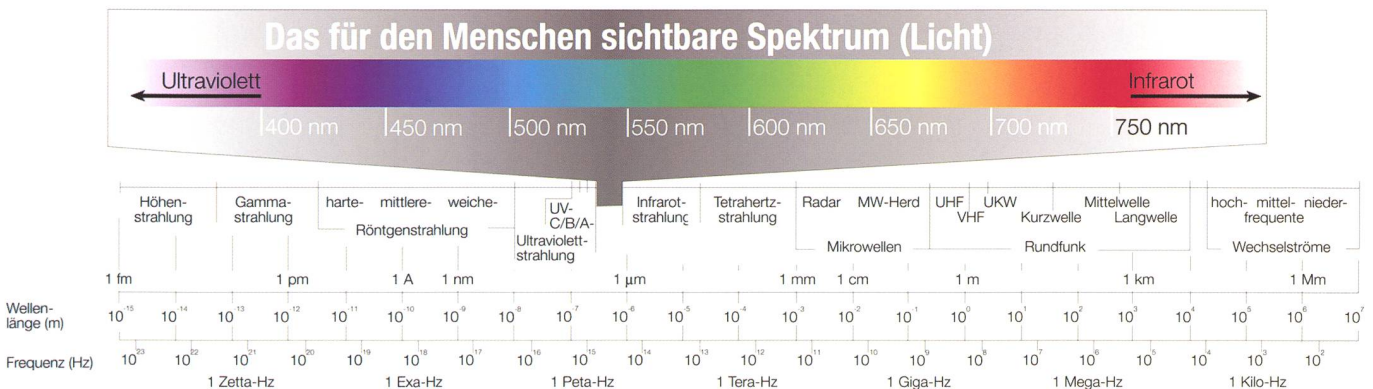


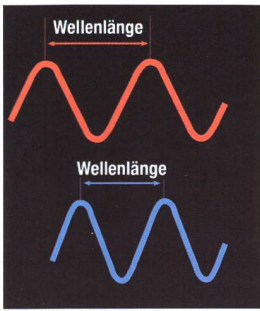
Entstehung des Spektrums mit Prisma (Grafik: Thomas Baer)

Elektromagnetisches Spektrum (Grafik: Thomas Baer)

Spektrum

sichtbare Spektralfarben (Regenbogen)





Wellenlängen im Vergleich

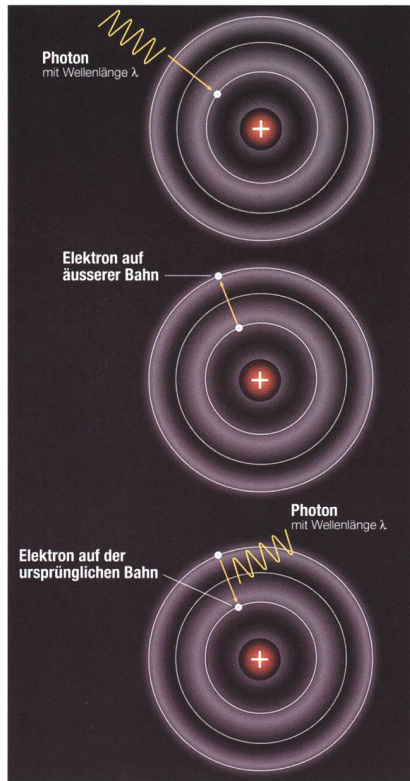


Modell des Wasserstoffatoms nach Niels Bohr

sind. Bohr postulierte, dass die Elektronen nur auf genau vorherbestimmten Bahnen um den Atomkern kreisen dürfen.

Innerhalb des Atoms können die Elektronen von Bahn zu Bahn springen. Soll ein Elektron dabei von einer inneren auf eine äussere Bahn springen, braucht es dafür Energie. Analog dazu brauchen wir Energie, wenn wir auf einer Treppe eine Stufe höher springen wollen. Fällt das Elektron von einer äusseren auf eine innere Bahn zurück, so verliert es Energie und sendet diese aus. Genauso würden wir Energie «verlieren», wenn wir eine Treppenstufe hinunter springen würden.

Kehren wir zum Licht zurück: Licht einer bestimmten Wellenlänge hat eine bestimmte Energie. Atome bzw. Elektronen können dieses Licht und damit die Energie, die in diesem Licht enthalten ist, absor-



Ein Photon trifft auf ein Elektron und wird auf eine äussere, erlaubte Bahn befördert. Das Elektron fällt auf die ursprüngliche Bahn zurück und sendet dabei das zuvor absorbierte Photon wieder aus.

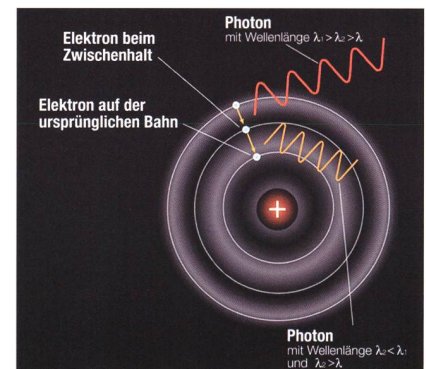
bieren. Sobald sie diese Energie und damit das Licht «verschluckt» haben, springen sie auf eine Bahn, die weiter vom Atomkern entfernt liegt. Die Voraussetzung für einen erfolgreichen Sprung ist aber, dass die Energie des Lichtes, das absorbiert worden ist, genau der für den Sprung benötigten Energie entspricht, denn die erlaubten Bahnen sind ja genau

vorherbestimmt. Das bedeutet nun aber, dass Licht einer ganz bestimmten Farbe (= Wellenlänge) vom Atom absorbiert werden muss. Es entsteht eine Absorptionslinie.

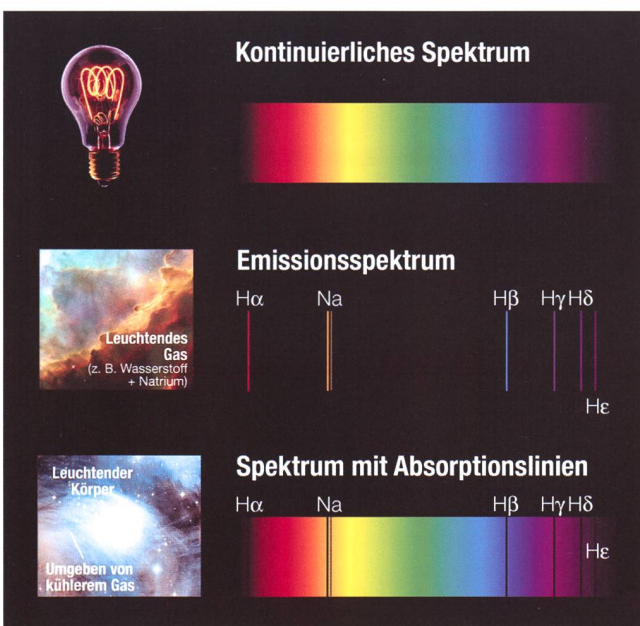
Fällt das Elektron auf dem gleichen Weg wieder zurück, sendet es das gleiche Licht wieder aus. Dabei entsteht eine Emissionslinie.

Das Elektron kann auf dem Weg zurück aber auch einen oder mehrere Zwischenhalte einlegen, sofern diese erlaubt sind. Dann wird es mehrere Photonen unterschiedlicher Wellenlängen aussenden, wobei jedes die der «verlorenen» Energie entsprechende Farbe hat. Es entstehen dabei mehrere Emissionslinien desselben Atoms.

Jedes Atom und auch jedes Molekül hat seine ganz charakteristischen Absorptions- bzw. Emissionslinien, die einem Fingerabdruck gleichkommen. Der Vergleich von astronomischen Spektren mit im Labor gewonnenen Spektren erlaubt es dann, die chemische Zusammensetzung eines Objektes zu bestimmen.



Das Elektron fällt mit einem Zwischenhalt auf die ursprüngliche Bahn zurück.



Ein glühender, fester oder flüssiger Körper sowie Gase unter hohem Druck und Temperatur erzeugen ein zusammenhängendes, kontinuierliches Spektrum.

Leuchtende Gase unter geringerem Druck und niedrigerer Temperatur zeigen einzelne helle Emissionslinien. Jedes chemische Element erzeugt seine eigenen Linienreihen.

Die Kombination beider Spektren ergibt ein Absorptionsspektrum, da Licht kühleres Gas durchläuft.

Vielfältige Informationen

Mit der Entdeckung des Zusammenhangs zwischen Absorptionslinien und chemischen Elementen wurde es möglich, aus dem Licht weit entfernter Objekte auf deren chemische Zusammensetzung zu schliessen. Mit dem grundlegenden quantenmechanischen Verständnis der Absorptions- und Emissionslinien wurde es darüber hinaus möglich, auch auf andere Zustandsgrössen wie z. B. Druck oder Magnetfelder zurückzuschliessen. Ausserdem spielt die Spektroskopie bei der Vermessung von Doppelsternsystemen eine zentrale Rolle.

Roger Brüderlin

Tüfwisstrasse 11
8185 Winkel b. Bülach