

Die Entschlüsselung der Sterne

1838 hatte man zwar gelernt, trigonometrisch die Entfernung zu „nahen“ Sternen zu bestimmen, aber über deren physikalisches Wesen wusste man noch immer nichts. Wie ratlos die Wissenschaft damals war, zeigt die Antwort des Berliner Physikprofessor Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879), der noch um 1860 auf eine entsprechende Frage eines seiner Studenten sagen musste: „Was die Sterne sind, wissen wir nicht und werden wir nie erfahren.“

Doch schon 50 Jahre später, wusste man, dass unsere Sonne und die Sterne riesige heiße Gaskugeln sind, kannte deren chemische Zusammensetzung und hatte bei vielen Exemplaren sogar schon Radius, Masse, Oberflächentemperatur und Strahlungsleistung bestimmt. Was war geschehen?

Man hatte verstanden, wie Licht entsteht. Das passiert im Innern von Atomen auf folgende Weise: Führt man einem Gas thermische, elektrische oder Strahlungsenergie zu, wie in einer Flamme, Leuchtstofflampe oder einem Kometenschweif, werden die Elektronen seiner Atome auf ein höheres Energieniveau, quasi auf eine höhere Bahn oder Schale, gehoben. Weil dieser Zustand nicht stabil ist, fallen sie sofort wieder auf ein niedrigeres Energieniveau und entsenden den dabei nun wieder frei gewordenen Energiebetrag als kleine Lichtportion ab, die man Lichtquant oder Photon nennt. Je mehr Atome das tun, desto mehr Licht entsteht. Weil ein Atom nur so und so viele Energieniveaus besitzt und die Energie eines Photons gleich der Differenz zweier Niveaus ist, enthält das Licht eines bestimmten Elements nur Lichtquanten ganz bestimmter Energien und damit auch nur ganz bestimmter Frequenzen, Wellenlängen oder Farben. Wird zum Beispiel das Licht des leuchtenden Wasserstoffs zerlegt, zeigen sich statt der ineinander übergehenden Regenbogenfarben nur vier Linien, nämlich je eine im roten, grünen, blauen und violetten Bereich. Weil sich die Atomhüllen der chemischen Elemente voneinander unterscheiden, besitzt jeder Grundstoff sein unverwechselbares Energieniveauschema und demnach auch seine typische Spektrallinienkombination von. Man sieht es dem Licht also an, von welchem chemischen Element es erzeugt wurde (Abb. 1).

Findet man im Spektrum eines leuchtenden Gases Linienkombinationen vieler chemischer Elemente, kann man daraus die Zusammensetzung des Gases ableiten. Diese so genannte Spektralanalyse und funktioniert auch dann, wenn das Licht vom Entstehungs- zum Empfangsort Millionen oder Milliarden Jahre unterwegs war. Im Gegensatz zu den Emissionslinienspektren interstellarer Gase (Abb. 2) erzeugen Sterne zunächst ein weitgehend kontinuierliches Spektrum, weil hier wegen des hohen Druckes und der hohen Temperatur ionisierte Atome auch freie Elektronen beliebiger Energie einfangen und dabei Photonen beliebiger Frequenzen entstehen. Geht dieses Licht dann durch die äußersten Schichten der Sterne, absorbieren die dort vorhandenen Elemente genau jene Frequenzen, die sie im Falle der Emission aussenden würden. Dadurch ergeben sich „Fehlstellen“, die man Absorptionslinien nennt (Abb. 3). Bei der Sonne lernte man sie zuerst kennen.

Mit Teleskopen kann man das Licht weit entfernter Himmelsobjekte einfangen, bündeln und spektral zerlegen. Deshalb wissen wir, woraus alte und junge Sterne, Weiße Zwerge, interstellare Wolken und Kometenschweife bestehen. Bei diesen Untersuchungen wurde klar, dass es nirgendwo im All andere chemische Elemente gibt als die auf der Erde bekannten. So entdeckte man die materielle Einheit des Universums, was unser Weltbild entscheidend qualifizierte. Inzwischen kann man dem fernen Licht sogar entnehmen, welchen Druck und welche Temperatur das leuchtende

Gas hat. Das Spektrum eines Sterns ist sein Fingerabdruck, durch dessen Entschlüsselung man gewissermaßen das Datenblatt des Sterns erhält.

Jenes Teilgebiet der Astronomie, in dem es um das Gewinnen und Auswerten von Spektren geht, nennt man Astrophysik. Die Spektralanalyse hilft auch bei der Untersuchung exsolarer Planeten, von denen seit 1995 schon Tausende gefunden wurden. Die Entwicklung immer größerer Teleskope und präziserer Auswertetechniken hat ein Niveau erreicht, mit dem man gezielt nach Planeten Ausschau halten kann, die Ozeane aus Wasser und in ihrer Atmosphäre Sauerstoff haben ...

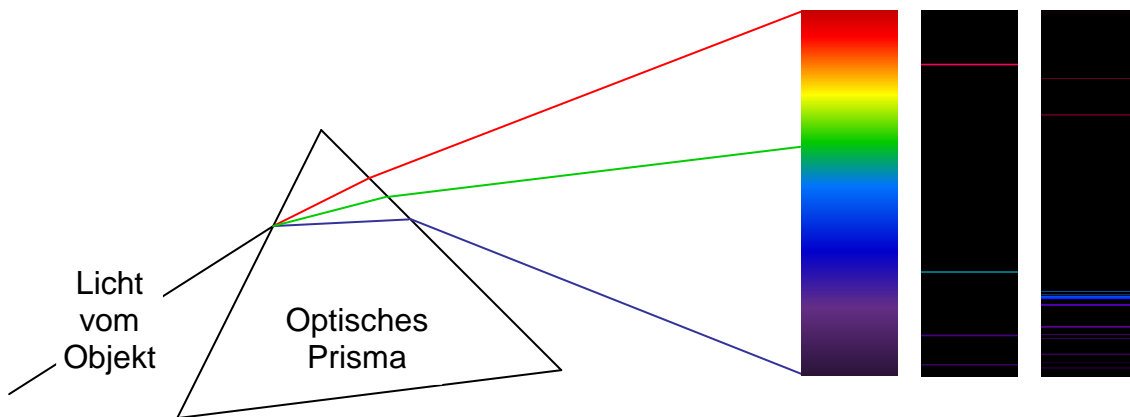


Abb. 1: Prinzip der Lichtzerlegung durch Brechung. Rechts drei Emissionsspektren, das kontinuierliche Spektrum einer Glühlampe im Vergleich zu den Linienspektren des atomaren Wasserstoffs und Sauerstoffs. *Grafik: Clausnitzer*



Abb. 2: Das Licht der Sterne und der interstellaren Materie gibt per Spektrum Auskunft über die chemische Zusammensetzung und die Temperatur der Objekte. Die roten Wolken hier im Orion verdanken ihre Farbe vor allem der H α -Linie des Wasserstoffs. Jedes mal, wenn ein Elektron eines Wasserstoffatoms vom M- auf das L-Orbital fällt, wird eine winzige Portion dieses Lichts erzeugt.

Foto: Till Credner, Sven Kohle.

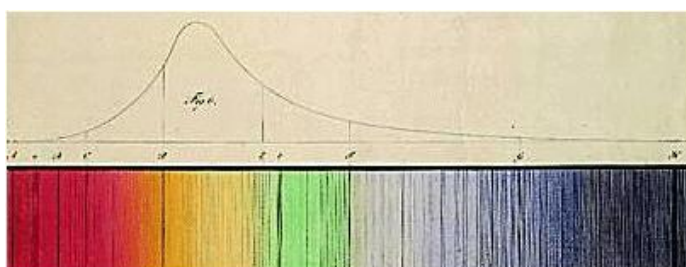


Abb. 3: Das Spektrum der Sonne. Hier werden die Absorptionslinien nach ihrem Entdecker Fraunhofer'sche Linien genannt.

Zeichnung: Joseph von Fraunhofer (1787-1826) im Jahr 1814.

Didaktische Bemerkungen

Im Grunde ist es gleichgültig, ob Schüler in Physik, Chemie oder Astronomie lernen, wie die Spektralanalyse funktioniert. In Astronomie ist es für die Schüler möglicherweise am interessantesten. Zur Bearbeitung des Lesetextes können den Schülern etwa folgende Aufgaben gestellt werden:

Aufgaben:

1. Zeichnen Sie das Orbitalmodell eines Wasserstoffatoms mit mehreren Energieniveaus. Stellen Sie darin die Entstehung eines H α -Lichtquants und eines Photons höherer Energie dar!
2. Worin unterscheiden sich zwei Lichtbündel unterschiedlicher Farbe?
3. Worin unterscheiden sich zwei Lichtbündel unterschiedlicher Intensität?
4. Wie entstehen Fraunhofer'sche Linien?
5. Entwickeln Sie eine Methode, mit der man die Zusammensetzung der Atmosphäre eines exsolaren Planeten untersuchen könnte, z.B. ob sie Wasserdampf und Sauerstoff enthält!
6. Der Lesetext endet mit drei Punkten. Interpretieren Sie diese!