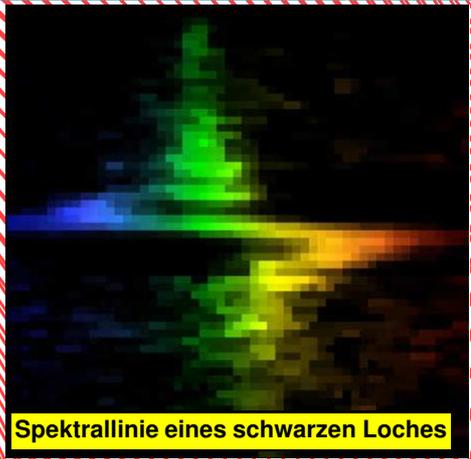
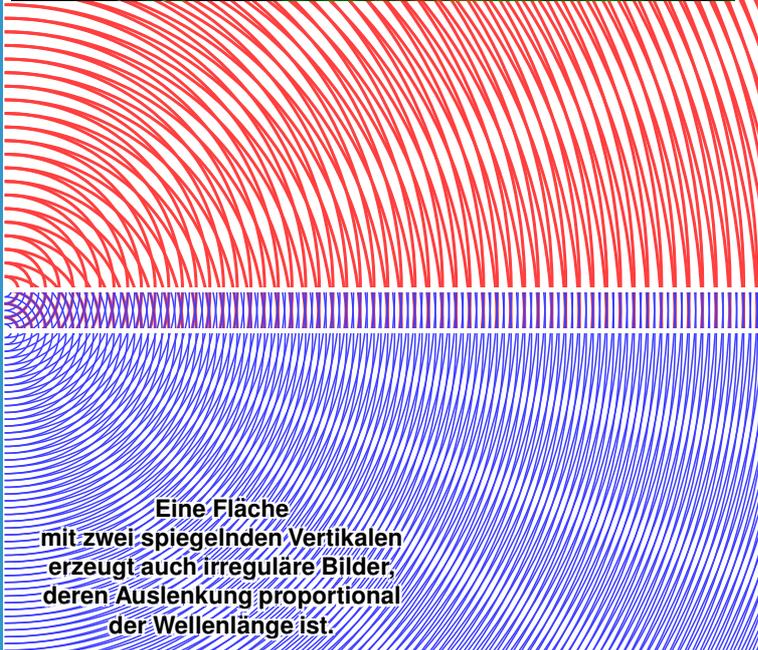


Sternhaufen 30 Doradus

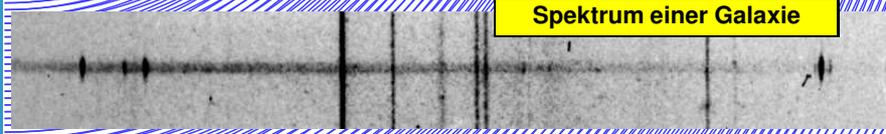
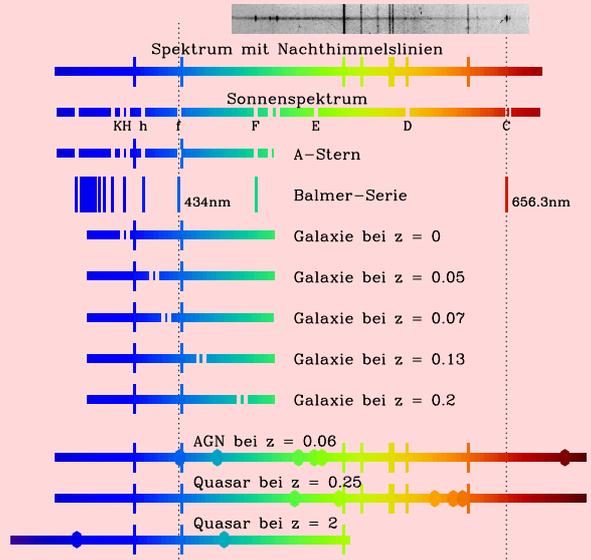


Spektrallinie eines schwarzen Loches

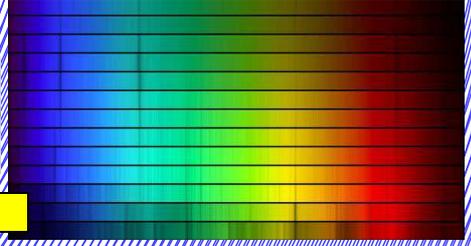


Eine Fläche mit zwei spiegelnden Vertikalen erzeugt auch irreguläre Bilder, deren Auslenkung proportional der Wellenlänge ist.

Schematische Spektren



Spektrum einer Galaxie

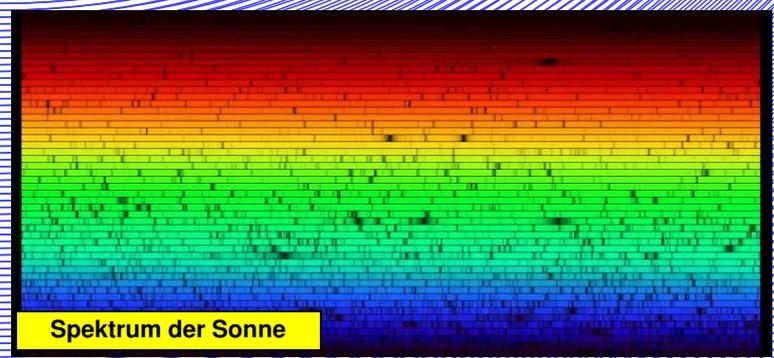
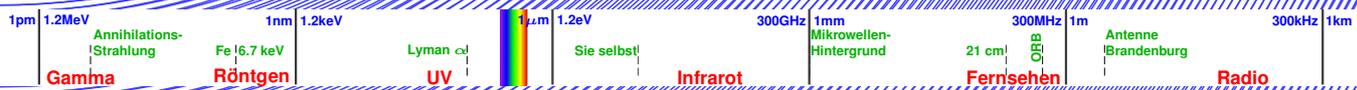


Spektren verschiedener Sterne

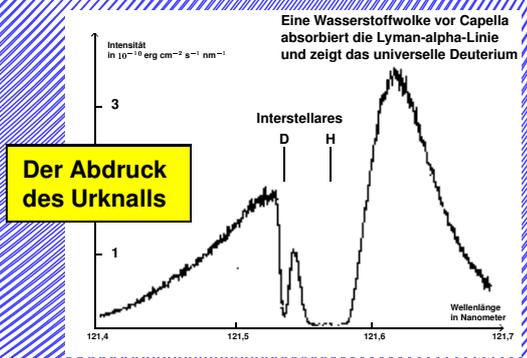
Die Farbe des Lichtes wird durch seine Wellenlänge bestimmt, die im Visuellen von etwa 350 nm (violett) bis 700 nm (rot) reicht. Die Struktur der Spektren erlaubt eine Identifikation der Atome und Moleküle.

SPEKTRUM

Linienintensitäten reden von den Häufigkeiten, Linienprofile von Temperatur und Magnetfeld, Feinstruktur und Hyperfeinstruktur von der Gültigkeit der Physik bis in die Tiefen des Universums.



Spektrum der Sonne



Der Abdruck des Urknalls

Eine Wasserstoffwolke vor Capella absorbiert die Lyman-alpha-Linie und zeigt das universelle Deuterium

SPEKTRUM

Das Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen. In einem schmalen Wellenlängenbereich (etwa eine Oktave, zwischen 350 und 700 nm), in dem die Atmosphäre klar ist und die Sonne die dichteste Energie abstrahlt, ist das Auge empfindlich. Die Wellenlänge bestimmt die Farbe. Mit Gittern (oder Prismen) kann man die Farben präparieren, d.h. in ein Spektrum zerlegen. Auf dem Poster ist links angedeutet, wie an zwei Gitterlinien irreguläre Spiegelbilder entstehen. Die Auslenkung ist proportional der Wellenlänge. Der Winkel für das erste irreguläre Bild in Rot zeigt in Blau schon das zweite. Das irreguläre Spiegelbild eines Spaltes wird so ein Band in den Regenbogenfarben (Jede Farbe hat eine andere Wellenlänge und wird anders ausgelenkt). Die Intensität der einzelnen Wellenlängen hängt von der Lichtquelle ab. Lichtquellen können an Hand ihres Spektrums analysiert werden. Das Spektrum kann helle und dunkle Linien enthalten. Diese sind dann eine Art Fingerabdrücke der strahlenden bzw. absorbierenden Atome und Moleküle. Spektrallinien können sehr schmal sein, sind aber im allgemeinen durch thermische und andere Bewegung verbreitert.

Zuerst konnte mit dem Spektrum die chemische Zusammensetzung der Quellen bestimmt werden. Im Spektrum der Sonne wurde so das Helium (Sonnenstoff) entdeckt, dem diejenigen Spektrallinien zugeschrieben wurden, die man von den bekannten irdischen Elementen nicht kannte. – Als zweites kann man die Radialgeschwindigkeit durch den Doppler-Effekt messen: Die Wellenlänge des Lichts vergrößert sich, wenn sich die Quelle von uns entfernt. Das Muster der Spektrallinien bleibt fest, aber alles verrutscht Richtung Rot (bei Annäherung Richtung Blau). – Die Spektrallinien spalten sich auf, wenn die Atome in einem Magnetfeld strahlen: An der Aufspaltung kann man das Magnetfeld am Ort der Lichtquelle messen. Auch das Schwerfeld verursacht eine Linienverschiebung, die aber nur in extremen Fällen von Bedeutung ist. – Die Lage der Spektrallinien eines Sterns gestattet es also, ihn chemisch zu analysieren, seine Geschwindigkeit zu messen, seine Temperatur und sein Magnetfeld zu bestimmen. Damit ist die Spektralanalyse die Grundlage aller Astrophysik.

Unter der Interferenzzeichnung ist das Spektrum einer Galaxie abgebildet, wie es mit einem Fotoapparat aufgenommen werden kann. Das Bild der Galaxie bedeckt nur einen kleinen Teil des Spaltes und erscheint deshalb nur wie ein schmaler Streifen. Die Querlinien sind Spektrallinien, die durch den Himmelshintergrund (Nachthimmel) entstehen. Sie nehmen die ganze Breite des Streifens ein, weil der Hintergrund den gesamten Spalt ausleuchtet. Im Spektrum der Galaxie sieht man Knoten, die Emissionslinien des heißen Gases im aktiven Kern der Galaxie sind. Absorptionslinien wären Lücken, die kühleres Gas im Vordergrund melden. Solche Linien sieht man im Sonnenspektrum, wie es rechts in der Sammlung von schematischen Spektren gezeigt wird.

Unter dem Sonnenspektrum ist das Spektrum eines Sterns der Klasse A angedeutet, dann folgt die charakteristische Serie der Wasserstofflinien. Trotz Mischung aller Sterntypen behalten Galaxien zwei Absorptionslinien, die allen Sternen gemeinsam sind: H und K aus dem Sonnenspektrum. An der Lage dieser Linien kann man sehen, dass sich Galaxien um so schneller von uns weg bewegen, je weiter sie entfernt sind. Die letzten drei Spektren in der Übersicht zeigen Galaxien mit Emissionslinien (Knoten), die man auch als Absorptionslinien im Sonnenspektrum finden kann.

Unter dem Schema sehen wir Spektren verschiedener Sterne – oben die heißen mit dem Intensitätsmaximum im Blauen und mit den Wasserstofflinien H_{β} und H_{γ} , unten die Spektren der kühleren Sterne mit dem Maximum im Gelben und mit Metalllinien. Ganz unten rechts ist ein Spektrum der Sonne zu sehen. Es ist weit auseinandergezogen und in Stücke zerschnitten, die untereinander angeordnet sind. Im Gelben sieht man hier ein Linienpaar, das im Foto eng nebeneinandersteht und in den Schemata nicht getrennt werden kann: die D-Linien des Natriums.

Zwei Abbildungen sind von besonderer Bedeutung. Oben rechts sehen wir die Spektrallinie einer Scheibe, auf die wir wie auf die Lauffläche eines Rades sehen. Oberhalb des Zentrums bewegt sich die Materie in der Scheibe auf uns zu (im Spektrum blauverschoben) und unterhalb der Nabe bewegt sie sich von uns weg (im Spektrum rotverschoben). Die Materie rotiert um das Zentrum wie die Planeten um die Sonne. Näher am Zentrum bewegt sie sich schneller, weiter weg langsamer. Deshalb ist die Spektrallinie zur Mitte hin am meisten ins Rote bzw. Blau verschoben. Messen wir so den Verlauf der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentrum, können wir wie im Sonnensystem nach dem dritten Keplerschen Gesetz die Masse im Zentrum bestimmen. Hier sind es 300 Millionen Sonnenmassen. Die Allgemeine Relativitätstheorie kennt solche Objekte nur als Schwarze Löcher.

Unten links sehen wir die Registrierkurve der Lyman-alpha-Linie des Wasserstoffs wie sie von Capella abgestrahlt wird, dem Hauptstern im Sternbild Fuhrmann, der in Winternächten weit oben am Himmel steht. Die Linie ist von einer Absorption unterbrochen. Diese Absorption stammt von einer kühlen Wasserstoffwolke in der Sichtlinie im Vordergrund von Capella. Die Absorptionslinie ist so sehr schmal, dass eine Begleitlinie sichtbar wird, die von schwerem Wasserstoff, dem Deuterium, stammt. Das Deuteriumatom hat einen doppelt so schweren Kern wie das Wasserstoffatom, deshalb sind seine Spektrallinien gegen die des Wasserstoffs leicht verschoben. Die Linienbreiten zeigen, dass der Wasserstoff mit einer kleinen Menge Deuterium (Konzentration etwa 1:100000) vermischt ist. Dieses Deuterium kann nicht aus Sternen stammen: Es wird nämlich in diesen viel schneller verbraucht als es entstehen kann. Das Deuterium muss deshalb Überbleibsel des Urknalls sein. Seine Konzentration ist eine wichtige Beobachtung jener Zeit, in der das Universum eine Milliarde K heiß war.

Das Bild vom Sternhaufen 30 Doradus zeigt, dass das Spektrum weit mehr umfasst als das Auge sehen kann (das Auge sieht nur eine Oktave von vierzig, die man bereits messen kann). Hier ist eine Aufnahme im Röntgenlicht rot eingefärbt, eine andere im Visuellen grün und eine dritte im Ultravioletten blau. Im Bild sind die Farben additiv gemischt. Das Röntgenlicht kommt von sehr heißem Gas (1 Million K), das visuelle von weniger heißem (5000 K), und das ultraviolette von Sternen, die zu den größten und heißesten gehören, die man kennt.