

Kosmologische Rotverschiebung

Absorptionslinien im Spektrum

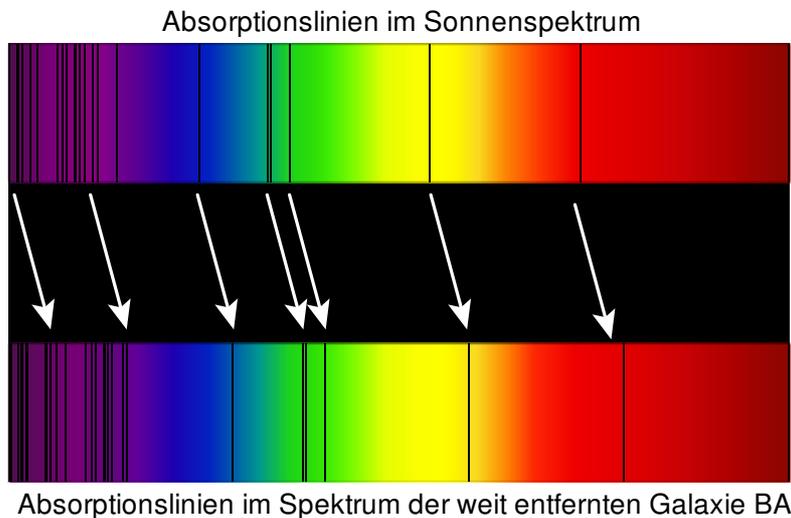


Abb. 1

Zunehmende Rotverschiebung bei weit entfernten Galaxien

Georg Wiora (Dr. Schorsch) created this image from the original JPG. Derivative work: Kes47 [

CC BY-SA 2.5

, GFDL

or

CC-BY-SA-3.0

],

via Wikimedia Commons

, Beschriftung von Stefan Richtberg

Analysiert man das Spektrum von weit entfernten Sternen und Galaxien, so findet man genau wie im Spektrum der Sonne verschiedene spezifische Absorptionslinien. Die Absorptionslinien entstehen z.B. durch die Absorption des Lichtes der jeweiligen Wellenlänge in der Atmosphäre des Sterns. Einige Linien entstehen jedoch auch beim Passieren der Erdatmosphäre. Durch die Beobachtung der Sterne mit Satelliten können solche Absorptionslinien heute vermieden werden.

Stärkere Rotverschiebung bei weit entfernten Galaxien

Vergleicht man, wie weit einzelne, charakteristische Absorptionslinien bei der Sonne und bei verschiedenen weiter entfernten Galaxien "ins Rote verschoben" sind, so stellt man fest, dass die Rotverschiebung mit der Entfernung der Galaxien zumeist zunimmt. Abb. 1 zeigt die Rotverschiebung der Absorptionslinien des Sonnenspektrums im Vergleich mit der Rotverschiebung der identischen Absorptionslinien der Galaxie BAS11, die 1 Milliarde Lichtjahre von uns entfernt ist. Die Linien der weit entfernten Galaxie sind deutlich weiter ins Rote verschoben.

Ausdehnung des Kosmos als Ursache der Rotverschiebung

Als Ursache dieser stärkeren Rotverschiebung darf nicht eine Relativbewegung von der Galaxie im Vergleich zur Erde verstanden werden. Ursache für die kosmologische Rotverschiebung ist die Ausdehnung des Raumes selbst: Wird Licht zu einem Zeitpunkt von einer fernen Galaxie emittiert, so braucht das Licht eine lange Zeit, bis es auf der Erde ankommt. In dieser Zeit dehnt sich das Universum weiter aus und mit dem Universum auch die Wellenlänge des Lichts. Das heißt, das Licht wird sozusagen mit der Expansion des Universums „gedehnt“. Dieser Effekt folgt automatisch aus den Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie und wird kosmologische Rotverschiebung genannt.

Größe der Rotverschiebung

In der Astronomie wird die Rotverschiebung häufig mit der dimensionslosen Größe z angegeben. Dabei ist die Rotverschiebung z das Verhältnis der Wellenlängenänderung zur ursprünglichen Wellenlänge λ_0 , also

$$z = \frac{\lambda_{\text{beobachtet}} - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\lambda_{\text{beobachtet}}}{\lambda_0} - 1$$

Hat sich z.B. die Wellenlänge des Lichtes auf dem Weg von der aussendenden Galaxie zur Erde durch die Ausdehnung des Raumes verdoppelt, so ist $\lambda_{\text{beobachtet}} = 2 \cdot \lambda_0$. Die Rotverschiebung beträgt also $z = \frac{2\lambda_0}{\lambda_0} - 1 = 1$.

Mithilfe der Rotverschiebung z kann man auch Aussagen über die Größe des Universums treffen. Beträgt die gemessene Rotverschiebung z.B. $z = 1$, so hatte das Universum zum Zeitpunkt der Aussendung des Lichtes gerade nur die Hälfte seiner jetzigen Größe. Wie diese Expansion verlaufen ist, das heißt, ob linear, beschleunigt, oszillierend (= hin und her bewegend) etc., kann dabei der Rotverschiebung nicht angesehen werden, sondern muss anderweitig erörtert werden.

Zusammenspiel mit Relativbewegung und gravitativer Rot- und Blauverschiebung

Die Rot- bzw. Blauverschiebung durch eine Relativbewegung einer Galaxie im Vergleich zur Erde (analog zum **Dopplereffekt**) spielt lediglich für

sehr nahe Galaxien eine Rolle. So ist z.B. Licht der 2,5 Millionen Lichtjahre entfernten Andromedagalaxie ins Blaue verschoben, da sie sich mit etwa **114km/s** auf die Milchstraße zubewegt. Ab Entfernung von etwa 100 Megaparsec ist der Anteil des Dopplereffektes an der Rotverschiebung verschwindend gering im Vergleich zur kosmologischen Rotverschiebung.

Weiter kann Rot- bzw. Blauverschiebung noch durch die Gravitation verursacht werden. Entfernt sich Licht von einem Gravitationszentrum, so wird es energieärmer und damit rotverschoben. Fällt Licht auf ein Gravitationszentrum zu, so wird es energiereicher und damit blauverschoben. Dieses Verhalten kann direkt aus der Energieerhaltung hergeleitet werden und wurde von Einstein bereits 1911 vorausgesagt.