

Arbeitsblatt 1:

Geschwindigkeitsmessung im Weltall – der Dopplereffekt macht's möglich

1. Informieren Sie sich mithilfe Ihres Physik-Lehrwerks oder des Internets, was man in der Physik unter dem **Dopplereffekt** versteht.
2. Der Dopplereffekt tritt nicht nur in der Akustik auf. Vielmehr ist das Phänomen auch bei elektromagnetischen Wellen zu finden, also auch bei Licht. Das eröffnet für die Astronomie eine hervorragende Möglichkeit, die Geschwindigkeiten von Sternen, Galaxien, Quasaren, Gaswolken und ähnlichen Objekten zu bestimmen. Analysiert man nämlich das Licht von solchen Strahlungsquellen, indem man es mithilfe eines Prismas oder eines optischen Gitters spektral zerlegt, lässt sich an der Position der Spektrallinien die Dynamik der Quelle ablesen. Mithilfe der sogenannten Blauverschiebung oder Rotverschiebung („Redshift“) der Spektrallinien kann man dann berechnen, mit welcher Geschwindigkeit sich die Quelle auf den Beobachter zu oder von ihm wegbewegt.

Informieren Sie sich mithilfe Ihres Physik-Lehrwerks oder des Internets, was man in der Astronomie unter **Rotverschiebung und Blauverschiebung von Spektrallinien** versteht.

3. Wir nehmen an, die Lichtquelle sendet Licht der Wellenlänge λ_s aus und die Quelle bewegt sich von uns weg. Dann wird der Empfänger eine größere Wellenlänge λ_e registrieren, nämlich $\lambda_e = \lambda_s \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet.

Dies ist die Formel¹ für die **Rotverschiebung aufgrund des Dopplereffekts**.

Sie sollen die Formel nun auf ein konkretes Beispiel anwenden:

Die Galaxie NGC 2276 ist etwa 100 Millionen Lichtjahre entfernt. Das Licht dieser Spiralgalaxie wurde spektral zerlegt und das Spektrum als Intensitätskurve ausgegeben:

depts.washington.edu/astroed/HubbleLaw/ngc2276_main.html (Abbildung unten rechts).

In dem Ausschnitt des Spektrums ist deutlich die Wasserstofflinie H-alpha zu erkennen. Dies ist nicht verwunderlich, denn viele Galaxien enthalten reichlich Wasserstoffgas, das durch



Bildquelle: Jsulman555, CC-BY-SA 3.0
commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC2276_and_NGC2300.jpg

¹ Diese Formel ist eigentlich eine Näherungsformel, die für Geschwindigkeiten gilt, die nicht zu nahe an der Lichtgeschwindigkeit liegen. Dies ist bei den folgenden Aufgaben der Fall.

Sterne zum Leuchten angeregt wird. Die H-alpha Linie weist bei einer ruhenden Quelle eine Wellenlänge von $656,28 \cdot 10^{-9}$ m auf; das sind 656,28 nm. Diese Spektrallinie ist bei der Galaxie NGC 2276 allerdings rotverschoben, denn das Objekt bewegt sich von uns weg.

Sie sollen im Folgenden diese **Fluchtgeschwindigkeit** ermitteln:

a) Zeigen Sie durch Umformung:

Aus der Dopplerformel $\lambda_E = \lambda_S \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$ ergibt sich die Geschwindigkeitsformel

$$v = \left(\frac{\lambda_E}{\lambda_S} - 1\right) \cdot c, \text{ wobei } c \text{ die Lichtgeschwindigkeit ist mit } c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Ermitteln Sie aus dem Diagramm die Wellenlänge der H-alpha Linie der bewegten Quelle (hohe Spektrallinie). Dies ist die empfangene Wellenlänge λ_E . Die ausgesendete Wellenlänge λ_S kennen wir schon – sie beträgt 656,28 nm.

Hinweis:

In dem Spektrum der Galaxie NGC 2276 wird die Wellenlänge auf der x-Achse in der Einheit Ångström angegeben, die in Deutschland kaum noch verwendet wird. Es gilt die Umrechnung: $1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$.

b) Berechnen Sie nun mithilfe der oberen Formel die Geschwindigkeit, mit der sich die Galaxie von uns wegbewegt. Geben Sie das Ergebnis in Kilometer pro Sekunde an (km/s).