

**1.** Wie groß sind die Impulse folgender **Photonentypen**?

- a) Infrarotphoton mit  $\lambda = 12,4 \mu\text{m}$  (*Lösung:*  $5,35 \cdot 10^{-29} \text{ kgms}^{-1}$ )
- b) „rotes“ Photon mit  $\lambda = 620 \text{ nm}$  (*Lösung:*  $1,07 \cdot 10^{-27} \text{ kgms}^{-1}$ )
- c) Gamma-Quant mit  $\lambda = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ nm}$  (*Lösung:*  $1,07 \cdot 10^{-21} \text{ kgms}^{-1}$ )
- d) Welche Geschwindigkeiten hätten **Wasserstoffatome** ( $m_{\text{H}} = 1,00794 \text{ u}$ ) mit diesen Impulsen?  
(*Lösung:* a)  $v_{\text{H}} = 0,032 \text{ ms}^{-1}$ , b)  $v_{\text{H}} = 0,64 \text{ ms}^{-1}$ , c)  $v_{\text{H}} = 6,41 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$ )
- e) Können diese Geschwindigkeiten klassisch berechnet werden, ist die relativistische Impulsbeziehung zu verwenden?

**2.** **Unmöglichkeit der Photonenabsorption durch freie Elektronen.**

- Man zeige, dass Energie- und Impulserhaltung nicht gleichzeitig gelten können, wenn ein **freies Elektron** mit der **Geschwindigkeit**  $v_1$  ein **Photon** der **Energie**  $E = h\nu$  vollständig absorbiert und sich danach mit der Geschwindigkeit  $v_2 > v_1$  weiterbewegt. (Das würde bedeuten, dass die gesamte Strahlungsenergie des Photons in kinetische Energie des Elektrons umgewandelt wird.)
- Wieso bleiben Energie und Impuls beim Compton-Effekt erhalten?  
(*Lösung:*  $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 \Rightarrow \text{kein Energieübertrag möglich}$ )

**3.** **Rotverschiebung im Gravitationsfeld:** Das Spektrometer eines Raumfahrzeuges detektiert im Licht, welches von einem Stern ausgeht, die **relative Frequenzverschiebung der Wasserstoff-H $\alpha$ -Line**

$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\nu_0 - \nu_G}{\nu_0} = 9 \cdot 10^{-7}$ . Der **Radius des Sternes** konnte mittels geometrischer Messungen bestimmt werden und beträgt **900000 km**.

- Wie groß ist seine **Masse**? (*Lösung:*  $1,09 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ )

**4.** **Brechungsgesetz für Materiewellen:** Wenn **Elektronen** in einen Festkörper eindringen, so erfahren sie eine zusätzliche Beschleunigung durch einen inneren Potentialunterschied  $U_i$ , der vom elektrostatischen Feld der Atomkerne und der Elektronen im Medium herrührt. Das bedeutet, dass die Materiewellenlänge  $\lambda_2$  der Elektronen im Medium sich von der Wellenlänge  $\lambda_1$  im Vakuum (oder Luft) unterscheidet.

- a) Man berechne die **Wellenlängenänderung**. (*Lösung:*  $\Delta\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e E}} \left( \frac{\sqrt{U + U_i} - \sqrt{U}}{\sqrt{U^2 + UU_i}} \right)$ )

- b) Aus der Wellenlängenänderung bestimme man den **Brechungsindex**  $n$  für Materiewellen.  
(*Lösung:*  $n = \sqrt{1 + \frac{U_i}{U}}$ )