

Übung Nr. 13

Diskussionsthema: Fassen Sie zusammen, wie die verschiedenen Arten von „Strahlung“ ihre Energie in der Materie verlieren.

Aufgabe 38. Kernfusion

Betrachten Sie die Fusionsreaktion $p + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,5 \text{ MeV}$, wobei Proton und Deuteron als ruhend angenommen werden sollen.

- i) Welche kinetische Energie hat der Heliumkern?
- ii) Dieser Prozess findet in der Sonne statt, bei einer Temperatur von etwa $1,7 \cdot 10^7 \text{ K}$. Schätzen Sie daraus ab, wie nahe sich Proton und Deuteron kommen müssen damit die Kerne fusionieren.

Aufgabe 39. Kernfusion

Berechnen Sie die Energie, die durch Fusion aller ${}^2\text{H}$ -Kerne zu ${}^4\text{He}$ in 1 kg Schwerwasser erzeugt werden kann. Die Bindungsenergien pro Nukleon B/A sind 1,112 MeV für ${}^2\text{H}$ und 7,074 MeV für ${}^4\text{He}$.

Aufgabe 40. Reichweite schwerer geladener Teilchen – Skalierungsgesetz

Es sei $R_p(E_{\text{kin},p})$ die Reichweite eines Protons mit der kinetischen Energie $E_{\text{kin},p}$ in einem Stück Materie. Zeigen Sie, dass die Reichweite $R_M(E_{\text{kin},M})$ eines Teilchens mit der Masse M , der elektrischen Ladung ze und der kinetischen Energie $E_{\text{kin},M}$, in der gleichen Materie durch

$$R_M(E_{\text{kin},M}) = \frac{M}{z^2 m_p} R_p\left(\frac{m_p E_{\text{kin},M}}{M}\right)$$

gegeben ist, mit m_p der Protonenmasse.

Aufgabe 41. Reichweite schwerer geladener Teilchen – eine Taschenformel

Der Energieverlust in Materie (Massendichte ρ von Atomen mit der Massenzahl A und der Ladungszahl Z) eines schweren Teilchens mit der Masse M , der kinetischen Energie E_{kin} und der elektrischen Ladung ze kann als

$$\frac{dE}{d\ell} \simeq -D \frac{Z\rho}{A} \frac{z^2 c^2}{v^2} L \quad (1)$$

geschrieben werden, wobei v die Geschwindigkeit des Teilchens ist und

$$D = 4\pi \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{\mathcal{N}_A}{m_e c^2}, \quad L = \ln \frac{b_{\text{max}}}{b_{\text{min}}},$$

mit \mathcal{N}_A die Avogadro-Zahl und m_e der Elektronenmasse.

Sei angenommen, dass L in Gl. (1) unabhängig von v ist. Zeigen Sie, dass die Reichweite des Teilchens lautet

$$R_M(E_{\text{kin}}) = \frac{A}{Z\rho} \frac{1}{D z^2 L} \frac{E_{\text{kin}}^2}{Mc^2 + E_{\text{kin}}}$$

und diskutieren Sie diese Formel.

Zur Erinnerung gilt für ein relativistisches Teilchen $E_{\text{kin}} = \frac{Mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - Mc^2$.

Aufgabe 42. Energiedosis

Der ${}^{32}\text{P}$ -Kern ist ein β^- -Strahler mit Halbwertszeit 14,3 Tage. Die emittierten Elektronen haben

eine maximale Energie von 1,71 MeV und ihre mittlere freie Weglänge in biologischem Gewebe ist etwa 7 mm.

Prüfen Sie, dass eine Quelle von 1 mC (Millicurie) eine Energiedosis der Ordnung 1 rad pro Sekunde überträgt.