

Übungen Nr. 13

Diskussionsthemen:

- Wie wird die Kettenreaktion in einem Spaltreaktor gesteuert?
- Fassen Sie zusammen, wie die verschiedenen Arten von „Strahlung“ ihre Energie in der Materie verlieren. Was bezeichnet man unter Bragg-Peak?

Aufgabe 44. Verzögerte Neutronen

In der Vorlesung wurde unter Vernachlässigung verzögerter Neutronen für die Neutronendichte $n_n(t)$ folgende Relation aufgestellt:

$$\frac{dn_n}{dt} = \frac{\nu_{\text{pr.}} q - 1}{t_{\text{pr.}}} n_n(t), \quad (1)$$

wobei $\nu_{\text{pr.}}$ die Zahl prompter Neutronen und $t_{\text{pr.}}$ die Zykluszeit ist — d.h. die mittlere Dauer, bis prompte Neutronen eine Spaltung induzieren —, während q die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass bei einem Stoß eine Kernspaltung erfolgt.

i. Sei angenommen, dass verzögerte Neutronen bei genau einer Art von Spaltung (d.h. für genau einen Spaltkanal) produziert werden, bei der die Spaltfragmente die mittlere Lebensdauer τ_β haben. Leiten Sie folgende Beziehung her:

$$\frac{dn_n}{dt} = \frac{\nu_{\text{pr.}} q - 1}{t_{\text{pr.}}} n_n(t) + \frac{\nu_{\text{ver.}} q}{t_{\text{pr.}}} \int_{-\infty}^t \frac{n_n(t') e^{-(t-t')/\tau_\beta}}{\tau_\beta} dt', \quad (2)$$

wobei $\nu_{\text{ver.}}$ die (mittlere) Anzahl verzögerter Neutronen pro Spaltung ist.

ii. Zeigen Sie, dass $n_n(t) = n_n(0) e^{\lambda t}$ eine Lösung der Integrodifferentialgleichung (2) ist und bestimmen Sie λ .

iii. Zeigen Sie, dass für $t_{\text{pr.}} = 10^{-5}$ s, $\nu_{\text{pr.}} q - 1 = 10^{-4}$ und in der Abwesenheit von verzögerten Neutronen die Neutronendichte exponentiell mit einer Zeitskala von 0,1 Sekunde wächst.

iv. Zeigen Sie, dass für $t_{\text{pr.}} = 10^{-5}$ s, $\tau_\beta = 10$ s, $\nu_{\text{pr.}} q - 1 = -0,00784$, $(\nu_{\text{pr.}} + \nu_{\text{ver.}})q - 1 = 10^{-4}$ (entsprechend $\nu_{\text{pr.}} = 2,5$ und $\nu_{\text{ver.}} = 0,02$) die Neutronendichte exponentiell mit einer Zeitskala von ca. 13 Minuten wächst.

Aufgabe 45. Kernfusion (1)

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

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

Aufgabe 46. Reichweite schwerer geladener Teilchen – Skalierungsgesetz

Sei $R_p(E_{\text{kin},p})$ die Reichweite eines Protons (Masse m_p) 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

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

gegeben ist.