

## 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  $\tau_\beta$  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 verzögelter 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  $\lambda$ .

- 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  $p + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,5 \text{ MeV}$ , wobei Proton und Deuteron ( ${}^2\text{H}$ -Kern) 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  $1,7 \cdot 10^7$  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.