

Übung Nr. 12

Diskussionsthema:

Informieren Sie sich über und erklären Sie die Unterschiede zwischen Druckwasserreaktor, Siedewasserreaktor und Hochtemperaturreaktor. Skizzieren Sie die Funktionsweise und diskutieren Sie Vor- und Nachteile.

31. Kettenreaktion

Berechnen Sie die kritische Masse für ^{239}Pu , indem Sie den kritischen Radius R_c abschätzen. Eine exakte Rechnung ist aufgrund vieler einzubeziehender Faktoren zu kompliziert und nur numerisch möglich; hier soll es ausreichen, den Radius aus der mittleren freien Weglänge λ abzuschätzen: $R_c \simeq \lambda\sqrt{\langle N \rangle}$, wobei $\langle N \rangle = 1/q$ das Verhältnis aus der Zahl aller Streu- und Spaltungereignisse und der Zahl der Spaltungereignisse ist. Es sei $\sigma_{\text{tot}}(^{239}\text{Pu}) = 1,9$ Barn, $q = 0,2$ und die Massendichte sei $19,8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

32. Verzögerte Neutronen

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

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\nu_p q - 1}{t_p} n(t), \quad (1)$$

wobei ν_p die Zahl prompter Neutronen und t_p die Zykluszeit ist (die mittlere Dauer, bis prompte Neutronen eine Spaltung induzieren) und q die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Stoß eine Kernspaltung erfolgt.

i. Unter der Annahme, dass bei genau einer Art von Spaltung verzögerte Neutronen produziert werden, leiten Sie folgende Beziehung her:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\nu_p q - 1}{t_p} n(t) + \frac{\nu_v q}{t_p} \int_{-\infty}^t \frac{n(t') e^{-(t-t')/\tau_\beta}}{\tau_\beta} dt', \quad (2)$$

wobei τ_β die mittlere Lebensdauer der Spaltfragmente ist, die verzögerte Neutronen produzieren und ν_v die Zahl verzögerter Neutronen ist.

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

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

iv. Zeigen Sie, dass für $t_p = 10^{-4}$ s, $\tau_\beta = 10$ s, $\nu_p q - 1 = -0,0078$ ($\nu_p + \nu_v$) $q - 1 = 10^{-4}$ (entsprechend $\nu_p = 2,5$ und $\nu_v = 0,02$) die Neutronendichte exponentiell mit einer Zeitskala von ca. 13 Minuten wächst.

33. Energieverlust schwerer geladener Teilchen in der Materie

Während des Durchgangs durch ein Stück Materie verliert ein „schweres“ (d.h. mit einer Masse viel größer als die Elektronenmasse) geladenes Teilchen seine kinetische Energie durch inelastische Stöße an den Ladungen der Materie. Wir wollen im Folgenden diesen „Energieverlust“ (tatsächlich wird die durch das reisende Teilchen verlorene Energie der Materie übertragen) mithilfe einer klassischen Berechnung abschätzen.

Es sei dann ein Teilchen mit der Masse $m \gg m_e$, der elektrischen Ladung ze und der Geschwindigkeit $v \ll c$ im Ruhesystem der Materie.

i. Bei jedem Stoß mit einem geladenen Teilchen – vorzugsweise Elektronen aus der Hülle der Atome der Materie – wird das schwere Teilchen abgebremst. Berechnen Sie den Impulsübertrag für den Stoß mit einem Elektron in Ruhe, $\Delta p_e = |\int F dt|$, mittels Coulomb-Gesetz (Sie können beispielsweise den Gaußschen Satz und die Zylindersymmetrie entlang der Bewegungsrichtung des schweren Teilchens ausnutzen). Daraus erhalten Sie die Energieabnahme ΔE in Abhängigkeit von der Teilchengeschwindigkeit v und dem Stoßparameter b .

ii. Die Materie sei durch eine Teilchenanzahldichte n von Atomen mit der Massenzahl Z beschrieben. Was ist die entsprechende Teilchenanzahldichte n_e von Elektronen? Wieviele Elektronen existieren mit einem Stoßparameter zwischen b und $b + db$ längs einer Wegstrecke $d\ell$ des schweren Teilchens? (Wegen $m \gg m_e$ ändert sich die Richtung des reisenden Teilchens fast nicht bei den Stößen an den viel leichteren Elektronen, vgl. Impulserhaltung: diese Wegstrecke ist in guter Näherung geradlinig).

Leiten Sie den Energieverlust des schweren Teilchens pro Wegstrecke und pro Stoßparameter $dE/d\ell db$ her, sowie den Energieverlust pro Wegstrecke $dE/d\ell$ unter der Annahme, dass der Stoßparameter Werte zwischen Grenzen b_{\min} und b_{\max} annehmen kann. Wie hängt $dE/d\ell$ von der elektrischen Ladung des schweren Teilchens ab? von seiner Masse bei fester kinetischer Energie? In welchem Zusammenhang stehen Geschwindigkeit und Energieverlust? Wieviel mehr Energie verliert ein $^{12}_6\text{C}$ -Kern als ein Proton mit derselben Energie über dieselbe Wegstrecke?