



Übungsblatt 6

Ausgabe am 27.11.2014

Besprechung am 3/4.12.2014, 15:15-16:00

Kurzreferat (15 min):

Was ist und wie funktioniert eine Neutronenquelle auf Basis der Pyrofusion?

Literatur:

Nature 434, 1115-1117 -> http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/~herschmid/Lehre/Pyrofusion_nature03575.pdf

<http://de.wikipedia.org/wiki/Pyrofusion>

Eduard Friske, Phys. Institut (eduard.friske@uni-tuebingen.de)

Gruppe 1: Axel Gschwind

Gruppe 2: Simon Heinz

Gruppe 3 : -

Gruppe 4: Alexander Ziegenbein

Aufgabe 1: ^{14}C – Datierung

Sie stellen bei 1g einer organische Probe eine β -Zählrate von 2.1 min^{-1} fest. Sie nehmen an, dass dies vom Zerfall of ^{14}C mit einer mittleren Lebensdauer $\tau = 8270 \text{ y}$ herrührt. Wenn die Häufigkeit von ^{14}C in lebender Materie $f_{^{14}\text{C}} = 1.2 \cdot 10^{-12}$ ist, was können Sie über das Alter der Probe aussagen?

Lösung 1:

Die Anzahl der Kohlenstoffatome in 1 g ist

$$N(\text{C}) = \frac{0.001 \text{ kg}}{12u} = 5 \times 10^{22}$$

mit $u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Die Anzahl der ^{14}C Kerne war $N(^{14}\text{C}, t = 0) = f_{^{14}\text{C}} \cdot N(\text{C}) = 6 \cdot 10^{10}$ und die mittlere Zählrate $\frac{dN}{dt}(^{14}\text{C}) = N(^{14}\text{C}, t = 0) \cdot \frac{1}{\tau} = 13.8 \text{ min}^{-1}$.

Zur Zeit t ist die Anzahl der ^{14}C -Kerne

$$N(^{14}\text{C}, t) = N(^{14}\text{C}, t = 0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

mit

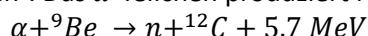
$$N(^{14}\text{C}, t)/N(^{14}\text{C}, t = 0) = 2.1/13.8$$

folgt

$$t = \tau \cdot \ln\left(\frac{13.8}{2.1}\right) = 1.56 \cdot 10^4 \text{ y}$$

Aufgabe 2: Neutronenquelle

Eine vergleichsweise einfache Methode um eine Neutronenquelle herzustellen ist eine α -Quelle mit Beryllium zu mischen¹. Das α -Teilchen produziert Neutronen über die Reaktion



Der Wirkungsquerschnitt für diese Reaktion ist $\sigma = 0.4 \text{ b}$ für α -Teilchen der Energie $E_\alpha \approx 5 \text{ MeV}$. Für Teilchen mit einer Energie unterhalb von 4 MeV ist der

¹ Mit einer solchen Neutronenquelle entdeckten Lisa Meitner und Otto Hahn 1938 die Kernspaltung



Kern- und Teilchenphysik

WiSe 2014/15

Wirkungsquerschnitt aufgrund der Coulomb-Barriere stark unterdrückt.

Nehmen an ein Kern emittiert ein α -Teilchen in reinem Beryllium ($\rho = 1.8 \text{ g/cm}^3$).

- Was ist der differentielle Energieverlust des Teilchens?
- Was ist die Reichweite des Teilchens bis es 1 MeV Energie verloren hat?
- Was ist die Wahrscheinlichkeit, dass es über diese Distanz durch die (α ,-) Reaktion eine Neutron erzeugt?
- Welche Aktivität muss die α -Quelle haben, damit 1 Bq Neutronen erzeugt werden?

Lösung 2:

- Mit

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_{\alpha} \beta^2$$

ist

$$\frac{1}{\beta^2} = \frac{m_{\alpha}}{2E_{kin}} \approx 400$$

Der spez. Energieverlust ist gegeben durch

$$-\frac{dE}{dx} \approx 0.307 \cdot \rho \cdot \frac{Z}{A} \cdot z^2 \cdot \frac{1}{\beta^2} \approx 400 \text{ MeV/cm}$$

- Die Reichweite für 1 MeV Energieverlust ist $R \approx 1/400 \text{ cm}$
- Die Wahrscheinlichkeit für eine Reaktion ist gegeben durch

$$P = \sigma \cdot \frac{N_T}{F}$$

wobei N_T/F die Anzahl der Streuzentren pro Einheitsfläche ist, d.h.

$$\frac{N_T}{F} = R \cdot \rho \cdot \frac{N_{Avogadro}}{9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx \frac{1}{400} \cdot 1.8 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{9} = 3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

$$P = 0.4 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 \cdot 3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2} = 1.2 \cdot 10^{-4}$$

- Die benötigte α -Aktivität für 1 Bq ist

$$A = \frac{1}{P \cdot t} = 8.3 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$$

Aufgabe 3: Strahlenbelastung

Sie hantieren mit einer für das Labor üblichen ^{252}Cf Neutronenquelle mit einer Aktivität von 100 kBq. Berechnen Sie ihre Strahlenbelastung (in Sievert) für folgende Fälle:

- Sie sind der Quelle für 1 Stunde in 2 m Abstand ausgesetzt.
- Sie sind der Quelle für 1 min in 10 cm Abstand ausgesetzt.

Nehmen sie dafür, dass die Quelle Neutronen von $E_n = 1 \text{ MeV}$ emittiert, deren Energie zu $f = 20\%$ im Körper absorbiert wird. Ihr Körpergewicht sei $m = 75 \text{ Kg}$ und die effektive Körperfläche $F = 0.6 \text{ m}^2$.

Lösung 3:

Die Flussdichte ist gegeben durch

$$\Phi = \frac{A}{4\pi R^2} = \frac{10^5 \text{ s}^{-1}}{4\pi R^2} = \begin{cases} 1.99 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} & (R = 2 \text{ m}) \\ 7.96 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} & (R = 0.1 \text{ m}) \end{cases}$$

Die absorbierte Energiedosis ist gegeben durch



$$\frac{dD}{dt} = \Phi \cdot f \cdot \frac{F}{M} \cdot E_n = \Phi \cdot 0.2 \cdot \frac{0.6}{75} \cdot 1.6 \cdot 10^{-13} = \begin{cases} 5.1 \cdot 10^{-13} \frac{J}{kg \cdot s} \\ 2.0 \cdot 10^{-10} \frac{J}{kg \cdot s} \end{cases}$$

Die Äquivalentdosisleistung ist dann

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dD}{dt} \cdot Q$$

mit dem Qualitätsfaktor für Neutronen $Q = 10$.

$$\frac{dH}{dt} = \begin{cases} 5.1 \cdot 10^{-6} \frac{\mu Sv}{s} \\ 2.0 \cdot 10^{-3} \frac{\mu Sv}{s} \end{cases}$$

- a) die Strahlbelastung für 1 Stunde und 2 m Abstand ist $H = 0.018 \mu Sv$
- b) die Strahlenbelastung für 1 min und 10 cm Abstand ist $H = 0.12 \mu Sv$