Klausurübungen für Examenskandidaten (experimentelle Physik, Lehramt vertieft)
Prof. Dr. Bert Hecht

Ausgegeben am 10.07.2007, Übungen jeweils Dienstag um 10:15 in SR 7
Übungsblätter und Vorlesungsfolien im Internet: www.nanoscale-optics.de → teaching
Für Rückfragen: hecht@physik.uni-wuerzburg.de, Zimmer B 032, Tel. 888-5863

Blatt 11: Kerne & Teilchen

Aufgabe 22 (Herbst 2005): Spurenelementanalyse (20 Punkte)

Spritzmittel, die im Weinbau verwendet werden, können Arsen enthalten. Um festzustellen, wie viel davon in den Wein gerät, werde eine Weinprobe mit der Masse 2,0 g (Dichte = $1 g/cm^3$) für 16,0 Minuten in einem Reaktor mit einer Neutronenflussdichte $\Phi = 1{,}0 \cdot 10^{15}\ s^{-1}\ cm^{-2}$ bestrahlt. Dabei wird natürliches ^{75}As in ein radioaktives As-Isotop mit $T_{1/2} = 26{,}5$ h umgewandelt (Aktivierung). Der Wirkungsquerschnitt für diesen Prozess beträgt $\sigma = 5.4 \cdot 10^{-24}\ cm^2$.

a. Geben Sie die Reaktionsgleichung für den Neutroneneinfang an. Diskutieren Sie stichwortartig, welcher Zerfallsprozess für das radioaktive As-Isotop zu erwarten ist und geben Sie die zugehörige Zerfallsgleichung an. Hinweis: Es gibt nur ein stabiles Arsen-Isotop. (5)

b. Berechnen Sie die Anzahl N_{akt} der As Atome, die im gesamten Bestrahlungsprozess aktiviert wer- den, wenn die Probe zu 10^{-5} Gewichtsteilen aus Arsen besteht.
Diskutieren Sie, inwiefern N_{akt} exakt der am Ende der Bestrahlung vorhandenen Anzahl N_0 der radioaktiven As Atome entspricht. (5)

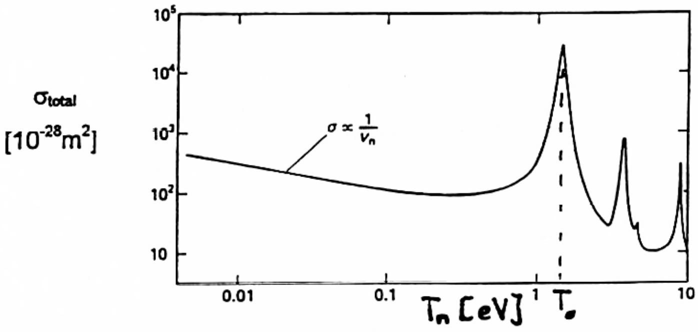
c. Bei der Relaxation der Tochterkerne des radioaktiven As werden γ-Quanten emittiert. Begründen Sie, warum man bei der Benutzung eines γ-Quanten-Detektors für jedes registrierte γ-Quant eindeutig bestimmen kann, ob es vom As-Zerfall stammt. (3)

d. Vom Detektor wird 1% der von der Probe emittierten γ-Quanten registriert. Berechnen Sie, wie viele As-Zerfälle während der Messzeit stattfinden müssen, damit sich die Arsenmenge mit einem relativen Fehler ≤ 1% bestimmen lässt. (3)

e. Bestimmen Sie, ob bei einer Anfangskonzentration $N_0 = 5 \cdot 10^9\ cm^{-3}$ diese Messgenauigkeit erreicht wird für eine Messzeit $T_{mess} = 10$ s. (Die Messung beginnt sofort nach dem Ende der Bestrahlung.) (4)

Aufgabe 23 (Frühjahr1998): Resonanzen in der Neutronenstreuung (20 Punkte)

Streut man Neutronen an natürlichem Indium (96% $^{115}_{49}In$, 4% $^{113}_{49}In$) so erhält man den in der Abbildung gezeigten Verlauf des totalen Wirkungsquerschnittes σ_{total} als Funktion der kinetischen Energie T_n der Neutronen. Um $T_n=T_o$ = 1.46 eV beobachtet man eine Resonanz, die von der Bildung des Compound-Kerns $^{116}_{49}In^*$ herrührt.



In der Nähe der Resonanzenergie T_o wird der totale Wirkungsquerschnitt nach Abzug des Untergrundes durch die Breit-Wigner Formel beschrieben

$$\sigma(T_n) = \pi\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 g \frac{\Gamma_n \Gamma}{(T_n - T_o)^2 + \Gamma^2/4} \quad .$$

Hierbei ist $\lambda=h/p_{CM}$ die deBroglie-Wellenlänge im Schwerpunktsystem und T_o der Wert von T_n jeweils im Maximum der Resonanz, Γ die volle Breite der Resonanz auf halber Höhe des Maximums. $g\Gamma_n = D_n$ ist eine Konstante, die für diese Reaktion den Wert D_n = 1,65 meV hat.

a) Erläutern Sie **eine** Methode zur Herstellung von monoenergetischen Neutronen.

(3 Punkte)

Vernachlässigen Sie im folgenden den nichtresonanten Untergrund und den Beitrag von Resonanzen bei höheren Energien.

b) Die totale Breite Γ der Resonanz beträgt Γ = 75 meV. Berechnen Sie die mittlere Lebensdauer τ. (2 Punkte)

c) Berechnen Sie den totalen Wirkungsquerschnitt im Maximum der Resonanz.

(4 Punkte)

d) Berechnen Sie den über die gesamte Resonanz integrierten totalen Wirkungsquerschnitt $\int_0^\infty \sigma(T_n)dT_n$. (3 Punkte)

(Hinweis: Verwendet man die Substitution $\mathrm{tg}\alpha = \frac{2(T_n - T_o)}{\Gamma}$ und α als Integrations-variable, so ergibt sich $\int \sigma(T_n)dT_n = \frac{\lambda^2}{2\pi} D_n \int d\alpha$).

e) Ein monoenergetischer Neutronenstrahl (Energiebreite $\Delta T_n \ll \Gamma$) mit der Energie $T_n = T_o$ und dem Teilchenfluß $\dot{N}_n = 1{,}0 \cdot 10^7 s^{-1}$ trifft auf einen Streuer der Dicke $L = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ mm aus natürlichem Indium ($\rho_{In} = 7{,}31$ g/cm^3).

Berechnen Sie die totale Reaktionsrate $\dot{N}_{total}$. (4 Punkte)

f) Der Neutronenstrahl habe den gleichen Teilchenfluß wie unter e) sei aber nicht monoenergetisch sondern habe eine Energiebreite von $\Delta T_n = \pm 300$ meV um die mittlere Strahlenergie $\bar{T}_n$. Die Neutronenintensität sei über das ganze Energie-intervall konstant.

Berechnen Sie die totale Reaktionsrate für den Fall $\bar{T}_n = T_o$. (2 Punkte)

g) Skizzieren Sie in einer linearen Skala (Abszisse in meV, Ordinate jeweils normiert auf die maximale Reaktionsrate) für die beiden Fälle e),f) den Verlauf der totalen Reaktionsrate als Funktion der Differenz zwischen der (mittleren) Strahlenergie $T_n(\bar{T}_n)$ und der Resonanzenergie T_o. (2 Punkte)