UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH) — PROF. DR. K.–H. KAMPERT
INSTITUT FÜR EXPERIMENTELLE KERNPHYSIK — DR. J.R. HÖRANDEL

Übungen zur Kern– und Teilchenphysik — SS 2002
6. Aufgabenblatt

Aufgabe 19 Radium und Radon

Zur Zeit $t = 0$ werden 10 g des Isotops ^{226}Ra (Dichte $\rho = 5.5$ g/cm^3) in ein Glasröhrchen mit einem Volumen von 5 cm^3 eingefüllt. Das Glasröhrchen wird anschließend verkorkt und bei 20 °C aufbewahrt. ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ a) zerfällt in das radioaktive Gas ^{222}Rn, welches mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 3.825$ d weiterzerfällt, bis letzten Endes zu ^{206}Pb.

1. Berechnen Sie die Anzahl der ^{222}Rn–Kerne als Funktion der Zeit. Am Anfang seien keine Rn–Kerne vorhanden.
2. Wann ist der Partialdruck des ^{222}Rn maximal? Welchen Wert hat er dann? Um wieviel Prozent etwa steigt der Druck im Röhrchen an?

Hinweis: siehe Aufgabe 16

Aufgabe 20 Doppelter β–Zerfall

1. Berechnen Sie die atomaren Massen für $A = 76$ und $Z = 31$–36 relativ zur atomaren Masse von $^{76}_{34}$Se. Berücksichtigen Sie auch den Term der Paarungsenergie. Verwenden Sie die folgenden Konstanten in der Weizäckerschen Massenformel: $a_A = 90.0$ MeV, $a_C = 0.74$ MeV, $a_P = 12.0$ MeV.
2. Tragen Sie die atomaren Massen über Z auf und verbinden Sie jeweils die gg– und die uu–Kerne durch eine Parabel. Welche β^- bzw. β^+–Zerfälle sind energetisch möglich und wie groß ist die maximale Elektron/Positron–Energie, wenn die Neutrinomasse gleich Null gesetzt wird?
3. Für den Zerfall
$$^{76}_{32}\mathrm{Ge} \rightarrow ^{76}_{34}\mathrm{Se} + \mathrm{e}^- + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_\mathrm{e} + \bar{\nu}_\mathrm{e}$$
wurde eine Halbwertszeit von $T^{2\nu}_{1/2} = 1.42 \times 10^{21}$ a gemessen. Wieviele Zerfälle erwartet man in 10 kg Germanium pro Jahr, wenn der Isotopenanteil von ^{76}Ge von 7.44% (natürliches Ge) auf 86% angereichert wurde?
4. Skizzieren Sie das Summenenergiespektrum der entstehenden Elektronen im Falle des neutrinobehafteten ($2\nu\beta\beta$) und des neutrinolosen ($0\nu\beta\beta$) doppelten Betazerfalls. Bisher gibt es nur eine obere Grenze für die Halbwertszeit des $0\nu\beta\beta$–Zerfalls von $T^{0\nu}_{1/2} > 7.4 \times 10^{24}$ a. Wievielen Zerfällen pro Jahr in 10 kg angereichertem Germanium entspricht diese Halbwertszeit?

Aufgabe 21 Neutrinos aus Kernreaktionen und Supernovae

1. Warum enstehen in einem Kernreaktor überwiegend Elektron-Antineutrinos?
2. Die entstehenden $\bar{\nu}_e$ sollen mit Hilfe eines Detektors, der als Neutrinotarget Wasser verwendet (^{16}O und ^{1}H), über den inversen β-Zerfall

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

   nachgewiesen werden. Die Neutrinos haben eine mittlere Energie von 2.3 MeV. Warum findet der inverse β-Zerfall nur an den H-Atomen und nicht an den Protonen im ^{16}O statt?
3. Der Wirkungsquerschnitt für den inversen β-Zerfall beträgt bei dieser Neutrinoenergie $\sigma = 6 \times 10^{-44}$ cm^2. Berechnen Sie die freie Weglänge $\lambda = \frac{1}{n\sigma}$ der $\bar{\nu}_e$ in Wasser. Dabei ist n die Dichte der Targetkerne H.
4. Bei einer Supernovae bildet sich ein Neutronenstern dadurch, daß die Protonen der Sternmaterie über den Prozeß $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ in Neutronen verwandelt werden. Die Materie des Neutronensterns hat etwa die Dichte von Kernmaterie. Berechnen sie die freie Weglänge λ für ν_e in einem Neutronenstern, wenn der Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $\nu_e + n \rightarrow p + e^-$ dabei $\sigma = 1 \times 10^{43}$ cm^2 beträgt.

Die Aufgaben werden in den Übungen am 5. Juni 2002 besprochen.
Informationen zu den Übungen: http://www-ik.fzk.de/~joerg/uebungen.html.