

Besprechung: 05.12.2017 bis 11.12.2017

Studierende im Studiengang Lehramt Gymnasium lösen bitte die Aufgaben 1, 2a, 3 und 4. Studierende aller anderen Studiengänge lösen bitte die Aufgaben 1, 2 und 3.

1. Energieverlust kosmischer Myonen in Eisen

Betrachten Sie ein kosmisches Myon der Energie $E = 3 \text{ GeV}$, welches durch eine 5 cm dicke Eisenplatte ($Z = 26$, $A = 55.85$, $\rho = 7.874 \text{ g/cm}^3$) fliegt. Berechnen Sie den Energieverlust des Myons im Eisen. Warum können Sie hierfür den Energieverlust als eine Konstante betrachten, anstelle über die vom Myon zurückgelegte Strecke zu integrieren?

Hinweis: Vernachlässigen Sie die Dichteeffektkorrektur und nehmen Sie für das Ionisationspotential $I \approx Z \cdot 10 \text{ eV}$ an.

2. Solare Neutrinos

In der Präsenzübung hatten Sie die Energieerzeugung der Sonne mittels thermonuklearer Fusion betrachtet. Hierbei werden in der sogenannten pp -Kette vier Protonen in mehreren Zwischenschritten zu einem ${}^4\text{He}$ -Kern fusioniert. Die Gesamtreaktion ergibt sich dabei zu:



mit der bei der Fusion freiwerdenden Gesamtenergie Q .

- (a) Welche Lebensdauer erhält man für die Sonne unter der Annahme, dass alle in der Sonne vorhandenen Protonen in der pp -Kette zu He umgewandelt werden? Verwenden Sie hierfür den in der Präsenzaufgabe berechneten Neutrinofluss auf der Erde (d.h. in $1 \text{ AE} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ Abstand von der Sonne) von $\Phi_{pp} = 6.89 \times 10^{14} \frac{1}{\text{m}^2\text{s}}$.

In einem Nebenzweig des pp -Zyklus werden durch Einfang eines Elektrons an ${}^7\text{Be}$ in der Reaktion



mono-energetische Neutrinos mit einer Energie von $E_{\text{Be}} = 862 \text{ keV}$ erzeugt, die in unterirdischen Detektoren über Neutrino-Elektron-Streuung nachgewiesen werden können. Im sogenannten *Borexino*-Experiment dient z.B. ein hochreiner Flüssigszintillator (Pseudocumol, C_9H_{12}) von 100 t Masse als Elektronentarget, in dem die Rückstoßelektronen ein Lichtsignal erzeugen.

(b) Freiwillig für Lehramtsstudierende:

Erläutern Sie qualitativ, warum das in Reaktion (2) emittierte Neutrino mono-energetisch ist. Sie können dabei eine mögliche Anregung des ${}^7\text{Li}$ Kerns vernachlässigen, da er in 89.48% der Zerfälle im Grundzustand erzeugt wird.

(c) Freiwillig für Lehramtsstudierende:

Berechnen Sie die Anzahl der $\nu_e - e^-$ -Streuereignisse im Detektor pro Tag. Gehen Sie dabei von einem Wirkungsquerschnitt $\sigma_{\nu_e - e^-} = 7.93 \times 10^{-21} \text{ b}$ und einem Neutrinofluss $\Phi_{\text{Be}} = 3.3 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ auf der Erde aus.

Hinweis: Die Rate der Neutrino-Elektron Streuung ergibt sich analog zur Reaktionsrate bei Streuung an einem stationärem Target, siehe 1. Anwesenheitsübung, Aufgabe 1c.

3. Spurenelementanalyse (Teil einer Staatsexamensaufgabe)

Spritzmittel, die im Weinbau verwendet werden, können Arsen enthalten. Um festzustellen, wie viel davon in den Wein gerät, werde eine Weinprobe mit der Masse 2.00 g für 16.0 Minuten in einem Reaktor mit einer Neutronenflussdichte $\Phi = 1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ bestrahlt. Dabei wird natürliches ^{75}As in ein radioaktives As-Isotop mit $t_{1/2} = 26.5 \text{ h}$ umgewandelt (Aktivierung). Der Wirkungsquerschnitt für diesen Prozess beträgt $\sigma = 5.4 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$.

- Geben Sie die Reaktionsgleichung für den Neutroneneinfang an. Welcher Zerfallsprozess ist für das radioaktive As-Isotop zu erwarten? Geben Sie die Zerfallsgleichung an.
- Berechnen Sie die Produktionsrate des radioaktiven As-Isotops, wenn die Probe zu 10^{-5} Gewichtsteilen aus Arsen besteht.
Hinweis: Die Produktionsrate ergibt sich analog zur Reaktionsrate bei Streuung an einem stationärem Target, siehe 1. Anwesenheitsübung, Aufgabe 1c.
- Wie groß ist die Anzahl N_{akt} der As-Atome, welche im gesamten Bestrahlungsprozess aktiviert werden? Diskutieren Sie, inwiefern N_{akt} exakt der am Ende der Bestrahlung vorhandenen Anzahl N_0 der radioaktiven As-Atome entspricht.

4. Thermische Neutronen und Uranspaltung (Teil einer Staatsexamensaufgabe, Freiwillig für Studierende auf Bachelor Physik oder Bachelor plus)

- Geben Sie die Rolle des Neutrons bei der Spaltung eines Urankerns ^{235}U an. Begründen Sie, warum der Wirkungsquerschnitt mit abnehmender Neutronenenergie zunimmt.
- In einem Kernspaltungsreaktor wird als Moderator material zur Abbremsung der Neutronen auf thermische Energie von $E_{n,\text{therm}} \sim 0.025 \text{ eV}$ oftmals H_2O verwendet. Betrachten Sie ein Neutron ($m_n = 939.6 \text{ MeV}/c^2$) mit der kinetischen Energie $E_{\text{kin},n} = 1.74 \text{ MeV}$ und bestimmen Sie seine kinetische Energie
 - nach einem zentralen Stoß mit einem ruhenden H-Kern ($m_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2$), und
 - nach einem zentralen Stoß mit einem ruhenden O-Kern ($m_O = 14900 \text{ MeV}/c^2$).
- Unter Berücksichtigung nichtzentraler Stöße des Neutrons mit ruhenden H-Kernen gilt im Mittel für jeden Stoß: $E_{n,\text{nachher}} = 0.368 \cdot E_{n,\text{vorher}}$. Bestimmen Sie die Anzahl N solcher Stöße, die zur Abbremsung eines Neutrons von $E_n = 1.74 \text{ MeV}$ auf thermische Energie notwendig ist.