



Lehrplananbindung: Ph 12.2 Radioaktivität und Kernreaktionen– Kernreaktionen

Kompetenzen: Neben den Fachkenntnissen liegt der Schwerpunkt bei

Erkenntnisgewinnung	<i>Fachmethoden beschreiben</i>	Fachmethoden nutzen	<i>Fachmethoden problembezogen auswählen u. anwenden</i>
Kommunikation	<i>mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten</i>	<i>Geeignete Darstellungsformen nutzen</i>	Darstellungsformen selbstständig auswählen & nutzen
Bewertung	<i>Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen</i>	Vorgegebene Bewertungen beurteilen u. kommentieren	<i>Eigene Bewertungen vornehmen</i>

Aufgabenbeispiel: Kernreaktionen und Massendefekt (Jgst. 12)

- a) Bei der Spaltung eines ^{235}U -Kerns durch ein Neutron entsteht ^{139}Ba und ^{94}Kr . Geben Sie die vollständige Reaktionsgleichung an und berechnen Sie unter Verwendung eines Tabellenwerks die dabei freiwerdende Energie in der Einheit MeV.
- b) ^{235}U kann durch langsame und durch schnelle Neutronen gespalten werden. In welchem Fall ist die Reaktionswahrscheinlichkeit größer? Begründen Sie Ihre Antwort.
- c) Schätzen Sie ab, wie viel Energie durch Spaltung von ^{235}U aus einem Kilogramm auf 4% ^{235}U -Gehalt angereichertem Uran gewonnen werden kann.
- d) Bei der Spaltung eines ^{242}Pu -Kerns entsteht ein ^{102}Mo -Kern und ein ^{138}Te -Kern. Geben Sie die vollständige Reaktionsgleichung an.
Bei dieser Spaltung wird eine Energie von 188,06 MeV frei. Die Massen der entstehenden Atome können zu $m(^{102}\text{Mo}) = 101,9102972 \text{ u}$ und $m(^{138}\text{Te}) = 137,9292200 \text{ u}$ bestimmt werden.
Berechnen Sie daraus die Masse eines ^{242}Pu -Atoms
- e) Geben Sie die Bilanzgleichung für die Fusion von vier Wasserstoffkernen zu einem Heliumkern an. Berechnen Sie unter Verwendung eines Tabellenwerks die dabei freiwerdende Energie in der Einheit MeV.
Schätzen Sie mithilfe dieses Ergebnisses und weiterer zu recherchierender Daten die verbleibende Lebensdauer unserer Sonne ab.
- f) Erläutern Sie, in welchem Bereich des Periodensystems durch Kernfusion Energie frei wird.
- g) Stellen Sie aus physikalischer Sicht Vor- und Nachteile der Energiebereitstellung durch Kernspaltung und Kernfusion zusammen.
- h) Finden Sie einige Aspekte der Diskussion um Energiebereitstellung durch Kernspaltungskraftwerke, die nicht durch physikalische Argumente entschieden werden können.

Lösungen

a) $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ^{139}_{56}\text{Ba} + ^{94}_{36}\text{Kr} + 3 {}^1_0\text{n};$
 $\Delta m = 0,183 \text{ u} \quad (\text{mit } m_A(^{139}_{56}\text{Ba}) = 138,9088354 \text{ u} \quad \text{und} \quad m_A(^{94}_{36}\text{Kr}) = 93,9343620 \text{ u})$
 $E = 0,183 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 170 \text{ MeV} .$

b) Die Spaltungsreaktion wird durch den Einbau eines Neutrons in den Kern ausgelöst. Dieser Einbau ist umso wahrscheinlicher, je länger sich ein Neutron im Wirkungsbereich der

Kernkräfte aufhält. Die Reaktionswahrscheinlichkeit ist also für langsame Neutronen größer. (Sofern zur Auslösung der Reaktion nicht noch zusätzlich Energie aus der kinetischen Energie des eingefangenen Neutrons nötig ist - in diesem Fall, etwa bei ^{238}U , lösen langsame Neutronen keine Spaltung aus.)

c) Masse eines ^{235}U -Atoms: $3,90 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$.

Anzahl der ^{235}U -Atome in 0,040 kg: $1,03 \cdot 10^{23}$

Unter der Annahme, dass das Ergebnis von Teilaufgabe a) einen typischen Wert für die Spaltung von ^{235}U darstellt:

Energiegewinn: $1,03 \cdot 10^{23} \cdot 170 \cdot 10^6 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ J}$

d) $^{242}_{94}\text{Pu} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{102}_{42}\text{Mo} + {}^{138}_{52}\text{Te} + 3 {}^1_0\text{n}$;

$$m({}^{242}_{94}\text{Pu}) = m({}^{102}_{42}\text{Mo}) + m({}^{138}_{52}\text{Te}) + 2m(\text{n}) + \frac{E}{c^2} = 242,05873 \text{ u}$$

$$\left(\text{mit } \frac{E}{c^2} = 0,20189 \text{ u}\right)$$

e) $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e}^+ + 2 {}^0_0\text{v}$;

$$\Delta m = 4m(\text{p}) - m(\alpha) - 2m(\text{e}) = 0,0265 \text{ u} = 24,7 \text{ MeV}.$$

Das entspricht rund 0,7 % der Masse der vier Protonen.

Die Leuchtkraft der Sonne beträgt heute $3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}$ ab. Sie besitzt eine Masse von $1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. Unter der Annahme, dass diese Masse ausschließlich in Form von Protonen vorliegt (was nur zur Abschätzung dienen kann, da ja bisher schon Heliumkerne in der Sonne erzeugt wurden) und dass diese vollständig umgewandelt werden, beträgt der maximal mögliche Wert der in Energie umgewandelten Masse $0,007 \cdot 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 1,39 \cdot 10^{28} \text{ kg}$, das entspricht einer Energie von $1,25 \cdot 10^{45} \text{ J}$. Mit der

bekannten Leistung erhält man eine Zeitspanne von $\frac{1,25 \cdot 10^{45} \text{ J}}{3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}} = 3,28 \cdot 10^{18} \text{ s} \approx 1 \cdot 10^{11} \text{ a}$.

Das ist eine sehr grobe Abschätzung. Tatsächlich erwartet man, dass die Lebensdauer unserer Sonne noch etwa $5 \cdot 10^9 \text{ a}$ beträgt, da nur ein geringer Anteil der vorhandenen Protonen (etwa 4 %) tatsächlich fusioniert wird.

f) Fusionsreaktionen liefern Energie im Bereich leichter Atomkerne, genauer dort, wo die Bindungsenergie pro Nukleon zunimmt.

g) Individuelle Lösungen.

Hinsichtlich der Kernfusion sollte man nicht außer Acht lassen, dass in der Reaktorhülle durch den großen Neutronenfluss in erheblichem Umfang radioaktive Isotope erzeugt werden. Durch geeignete Wahl der Materialien lässt sich aber erreichen, dass hierbei im wesentlichen Isotope mit relativ kurzen Halbwertszeiten entstehen.

h) zum Beispiel:

- Bewertung des Risikos von Endlagern für künftige Generationen
- Bewertung des Beitrags zu CO_2 -neutraler Energiebereitstellung
- Bewertung der Umweltfolgen der Urangewinnung und -anreicherung
- Bewertung des Proliferationsrisikos
- Berechnung der Wirtschaftlichkeit