



Lehrplananbindung: Ph 9.2 Atome – Kernumwandlungen

Kompetenzen: Neben den Fachkenntnissen liegt der Schwerpunkt bei

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

Aufgabenbeispiel: Kernreaktionen und Massendefekt (Jgst. 9)

a) Gib eine mögliche Gleichung für die Spaltung eines ^{235}Th -Kerns an, bei dem ein Tellur-Isotop, ein weiterer Kern und zwei freie Neutronen entstehen.

b) Bei der Spaltung eines ^{242}Pu -Kerns entsteht ein ^{102}Mo -Kern und ein ^{138}Te -Kern. Gib die vollständige Reaktionsgleichung an.

c) Berechne aus den folgenden Atommassen, wie viel Energie (in Joule) bei dieser Kernspaltung frei wird.

$$^{242}\text{Pu}: \quad 242,0587368 \text{ u}$$

$$^{102}\text{Mo}: \quad 101,9102972 \text{ u}$$

$$^{138}\text{Te}: \quad 137,9292200 \text{ u}$$

$$\text{Neutron}: \quad 1,008665 \text{ u}$$

$$\text{Atomare Masseneinheit: } 1 \text{ u} = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

d) Unsere Sonne strahlt pro Sekunde eine Energie von $3,82 \cdot 10^{26} \text{ J}$ ab. Ihre Energieproduktion beruht auf einem Prozess, bei dem vier Protonen in einen Heliumkern verwandelt werden. Dabei entstehen zusätzlich zwei Positronen (das sind Elementarteilchen, die die gleiche Massen haben wie Elektronen, aber eine positive Elementarladung tragen). Bei jedem solchen Prozess werden etwa $4 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ Energie frei, das entspricht rund 0,7 % der Masse der vier Protonen.

Wieso müssen bei dieser Reaktion zwei Positronen entstehen?

Schätze ab, wie lange unsere Sonne auf diese Weise höchstens noch leuchten kann. Recherchiere weitere Daten, die du dafür benötigst.

e) Begründe, wieso Kernfusion im Inneren der Sonne, nicht aber ohne großen Aufwand auf der Erde möglich.

Lösungen

a) Mögliches Beispiel: $^{235}_{90}\text{Th} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{137}_{52}\text{Te} + {}^{97}_{38}\text{Sr} + 2 {}^1_0\text{n}$.

Offen sind zum einen die Massenzahlen der entstehenden Isotope und zum anderen die Anzahl der frei werdenden Neutronen.

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

c) $\Delta m = 242,0587368 \text{ u} - 101,9102972 \text{ u} - 137,9292200 \text{ u} - 2 \cdot 1,008665 \text{ u}$
 $= 0,202 \text{ u} = 3,35 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 3,02 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

d) Die vier Protonen, die miteinander verschmelzen, haben vier positive Elementarladungen, der entstehende He-Kern nur zwei. Bei der Reaktion müssen zwei der Protonen zu Neutronen umgewandelt werden. Da Ladung nicht verschwinden kann, müssen zusätzlich zum He-Kern weitere Teilchen entstehen, die zwei positive Elementarladungen tragen.

Die Sonne strahlt eine Leistung von $3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}$ 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.

e) Damit es zu einer Verschmelzung zweier Kerne kommen kann, müssen sie sich zunächst so weit einander annähern, dass die starken, aber kurzreichweitigen Kernkräfte wirken können. Dazu muss die gerade bei kleinen Abständen stark abstoßende elektrische Kraft überwunden werden. Nur hinreichend schnelle Atome bzw. Atomkerne haben dazu genügend kinetische Energie, d. h. es sind sehr hohe Temperaturen nötig, wie sie im Inneren der Sonne herrschen. Im Labor ist es äußerst schwierig, Materie von so hoher Temperatur (die um viele Größenordnungen über dem Schmelzpunkt aller Materialien liegt) einzuschließen.