

## Übungen zur Kernphysik

# Serie 2: Energieumsätze bei Kernreaktionen

### Reminder zu den Konstanten im TR

Unser TR (TI-30X Pro Multiview) kennt die folgenden Konstanten unter den Kürzeln rechts:

Elektronenmasse:	$m_e = 9.109\,382\,15 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	→ me
Protonenmasse:	$m_p = 1.672\,621\,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	→ mp
Neutronenmasse:	$m_n = 1.674\,927\,21 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	→ mn
Atommasse-einheit:	$u = 1.660\,538\,78 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	→ u
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:	$c = 2.997\,924\,58 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	→ c

Unbekannt ist dem TR hingegen die Umrechnung von Joule in Megaelektronvolt. Dafür merken wir uns:

$$\text{Megaelektronvolt: } 1 \text{ MeV} = 1.602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

### 1. Eine typische Spaltungsreaktion im Schweizer AKW

In Schweizer Kernkraftwerken wird ausschliesslich mit  $^{235}\text{U}$  als Spaltmaterial gearbeitet. Eine Spaltungsreaktion wird eingeleitet, indem ein Uran-Kern von einem freien Neutron getroffen wird. Eine Möglichkeit der anschliessend erfolgenden Aufspaltung lautet:



Bestimme die Energie in MeV, die bei dieser Spaltungsreaktion frei wird.

#### Massen der radioaktiven Tochternuklide:

$$m_A(^{139}\text{Ba}) = 138.908\,841 \text{ u} \quad \text{und} \quad m_A(^{94}\text{Kr}) = 93.934\,400 \text{ u}$$

### 2. Instabile Kerne und Radioaktivität

Instabile Kerne sind radioaktiv. D.h., sie wandeln sich nach einer gewissen Weile unter Aussendung hochenergetischer Strahlung in einen anderen, stabileren Kern um. Der Kern geht beim Zerfall in einen energetisch günstigeren Zustand über. In der Kernphysik bedeutet dies, dass er dabei an Masse verliert. Er wird leichter. Ein Beispiel eines solchen Zerfalls lautet:<sup>1</sup>



Neben dem Tochterkern  $^{198}\text{Hg}$  werden drei weitere Teilchen neu erzeugt: ein **Elektron**  $e^-$  ( $= \beta^-$ -Teilchen), ein **Anti-Elektronneutrino**  $\bar{\nu}_e$ , und ein **Photon**  $\gamma$ . Das  $\gamma$ -Teilchen ist ganz masselos und die Masse des  $\bar{\nu}_e$  ist unmessbar klein. Es gilt also:  $m_{\bar{\nu}_e} \approx m_\gamma = 0$ .

- Wie viele MeV Energie werden bei diesem radioaktiven Zerfall frei? (Tabellenanhang A!)
- Die freigesetzte Energie wird den aus der Reaktion hervorgehenden Teilchen in Form von kinetischer Energie mitgegeben.

Vergleiche diese Energiemenge mit der Energie von Photonen in ungefährlichem violetterem Licht (ca. 2.7 eV) und in Sonnenbrand hervorrufender Ultraviolettstrahlung (ca. 4.2 eV).

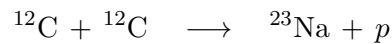
Was für Schlüsse ziehst du aus diesem Vergleich?

---

<sup>1</sup>Genau genommen wurden hier zwei hintereinander erfolgende Reaktionen zu einer einzigen zusammengefasst: Zuerst wandelt sich der radioaktive Gold-Kern  $^{198}\text{Au}$  durch einen  $\beta^-$ -Zerfall in den  $^{198}\text{Hg}$  um, wobei das  $e^-$  und das  $\bar{\nu}_e$  erzeugt werden. Danach erfolgt der  $\gamma$ -Zerfall, bei dem sich der nach dem ersten Zerfall noch in einem angeregten Zustand befindliche  $^{198}\text{Hg}$ -Kern durch Aussendung eines Photons  $\gamma$  abregt.

### 3. Eine wichtige Kernreaktion

In dieser Aufgabe betrachten wir die folgende Kernreaktion:



- Um welchen Typ von Kernreaktion handelt es sich hier? Gib ihr einen passenden Namen.
- Bestimme die bei dieser Reaktion frei werdende Bindungsenergie in MeV.
- Wohin geht eigentlich die bei der Reaktion frei werdende Energie? Wie oder wo ist sie nach der Reaktion vorhanden – sie kann ja gemäss dem Energieerhaltungsprinzip nicht einfach “vernichtet” worden sein?
- Damit diese Kernreaktion abläuft, wird eine Temperatur von unglaublichen  $700\,000\,000\text{ }^\circ\text{C}$  benötigt. Weshalb braucht es eine derart hohe Temperatur, damit diese Reaktion überhaupt ablaufen kann?
- Wo in der Natur gibt es eine solche Reaktion denn? Und weshalb war diese Reaktion für uns Menschen wohl von grosser Bedeutung?

**Bedenke:** Im innersten Kern unserer Sonne herrschen “nur”  $15\,000\,000\text{ }^\circ\text{C}$ . Diese Reaktion kann dort also nicht stattfinden.

### 4. Die Kernspaltung von Plutonium-239

Pu-239 wird in einigen ausländischen Kernreaktoren – noch häufiger leider in Atombomben – als Spaltmaterial verwendet.

- (a) Eine mögliche Spaltungsreaktion lautet:



Welcher Tochterkern ( $\square$ ) entsteht neben Technetium-107?

- (b) Eine andere Spaltungsreaktion von Pu-239 lautet:



Wie viel Kernenergie wird bei dieser Spaltungsreaktion frei? Gib die Antwort in MeV.

Nuklidmassen:  $m_{\text{A}}(^{239}\text{Pu}) = 239.052\,163\text{ u}$

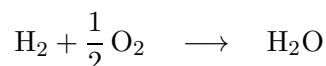
$$m_{\text{A}}(^{144}\text{Ba}) = 143.922\,953\text{ u}$$

$$m_{\text{A}}(^{94}\text{Sr}) = 93.915\,361\text{ u}$$

### 5. Zusatzaufgabe: Massendefekt in der Chemie

In der Chemie haben wir gelernt, dass die Masse eine Erhaltungsgrösse ist, also bei jeder beliebigen Reaktion insgesamt gleich bleibt. Dies ist aber nicht ganz richtig, denn auch bei diesen Reaktionen gilt die Einstein'sche Masse-Energie-Äquivalenzrelation  $\Delta E = \Delta M \cdot c^2$ . Wird bei einer exothermen Reaktion (Bindungs-)energie frei, so geht dies zwangsläufig mit einem Masseverlust einher.

Betrachten wir als Beispiel die Knallgasreaktion:



Laut Angaben aus dem Chemiebuch wird bei dieser Reaktion eine Energiemenge von  $286\text{ kJ}$  pro Mol entstehender  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle frei. Für eine chemische Reaktion ist das ein beträchtlicher Energieumsatz!

Berechne aus dieser Angabe den Massenverlust, welcher sich gemäss Einstein ergibt, wenn die obige Reaktion genau einmal abläuft. Vergleiche das Resultat mit der Masse eines Elektrons und begründe damit, weshalb die Masse in der Chemie trotz Einstein als Erhaltungsgrösse betrachtet wird.

**Hinweis:** Avogadrokonstante = Teilchenzahl pro Mol =  $6.022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$ .

