

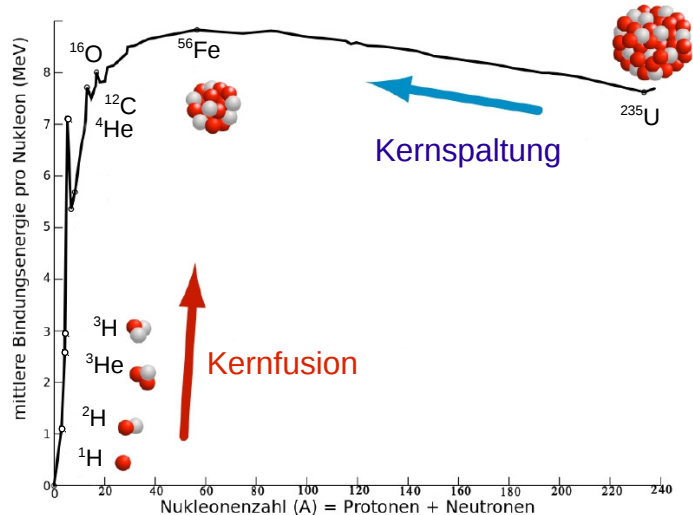
# Übungen zu Physik V: Kerne und Teilchen (6)

Abgabetermin: bis 26.11.2024, 10:00 Uhr

## Aufgabe 1: $\alpha$ -Zerfall

[LA: nur Teilaufgaben 1&4–6] (20 Punkte)

Die Abbildung zeigt die Bindungsenergie pro Nukleon für stabile Kerne. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass sich die betrachteten Kerne im Stabilitätstal befinden. Zur Erinnerung:  $\beta$ -stabile Kerne erhält man im Tröpfchenmodell dadurch, dass die Weizsäcker-massenformel ein Minimum annimmt (siehe Blatt 3, Aufgabe 3). Der  $\alpha$ -Zerfall ist energetisch möglich, wenn die Masse des Tochterkerns und die Masse des  $\alpha$ -Teilchens zusammen kleiner sind als die Masse des Mutterkerns (siehe auch Blatt 3, Aufgabe 4).



1. Welchen Term in der Weizsäcker-Massenformel kann man für große Massenzahlen  $A$  in der Regel vernachlässigen? (1 Punkt)
2. Die Coulombbarriere ist für Protonen kleiner als für  $\alpha$ -Teilchen, trotzdem kommt bei schweren Kernen der Zerfall durch Protonemission in der Natur praktisch nicht vor. Erklären Sie mit Hilfe der im Bild gezeigten Bindungsenergie pro Nukleon, warum das so ist. (2 Punkte)
3. Erklären Sie mit Hilfe der im Bild gezeigten Bindungsenergie pro Nukleon, ob ein Zerfall durch Deuteron- oder Tritium-Emission wahrscheinlicher ist als ein Zerfall durch Protonemission. (2 Punkte)
4. Zeigen Sie mit Hilfe der Weizsäcker'schen Massenformel, dass für die beim  $\alpha$ -Zerfall frei werdende Energie  $Q_\alpha$  im Fall von großen  $A$  und  $Z$  gilt:

$$Q_\alpha = -4a_v + \frac{8}{3}a_s A^{-1/3} + 4a_c Z \left(1 - \frac{Z}{3A}\right) A^{-1/3} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A^2} + E_B^\alpha \quad (1)$$

wobei  $E_B^\alpha = 28,3 \text{ MeV}$  die Bindungsenergie des  $\alpha$ -Teilchens ist.

Hinweis: Da sich  $A$  und  $Z$  für schwere Kerne beim  $\alpha$ -Zerfall nur wenig ändern, können Sie die Massenformel an der Stelle  $(A, Z)$  entwickeln. (5 Punkte)

5. Bestimmen Sie  $Q_\alpha$  für die Kerne  $^{107}\text{Ag}$ ,  $^{197}\text{Au}$  und  $^{238}\text{U}$ . Interpretieren Sie die Werte bezüglich der Stabilität dieser Kerne gegenüber  $\alpha$ -Zerfall. (3 Punkte)
6. Wie hängen beim  $\alpha$ -Zerfall der  $Q$ -Wert und die Energie des emittierten  $\alpha$ -Teilchens zusammen? (2 Punkte)
7. Bestimmen Sie mit Gleichung (1) die Massenzahl  $A$ , ab der  $\alpha$ -Instabilität im Massental der Nuklidkarte zu erwarten ist. Verwenden Sie hierzu  $Z_{\min}$  aus Blatt 3, Aufgabe 3.3. Hinweis: Eine graphische Bestimmung vereinfacht die Lösung der Aufgabe. (5 Punkte)

**Aufgabe 2: Fragen zu Kernzerfällen****(10 Punkte)**

Stellen Sie sich für die Beantwortung der folgenden Fragen nicht-angeregte Kerne im Potentialtopfmodell vor. Berücksichtigen Sie alle Kernzerfälle, die man sich in einem Potentialtopfmodell veranschaulichen kann.

1. Kann ein Kern dessen Protonen im obersten besetzten Energieniveau mit 8 MeV gebunden sind zerfallen? Wenn ja wie? (2 Punkte)
2. Kann ein Kern dessen Neutronen im obersten besetzten Energieniveau mit 8 MeV gebunden sind zerfallen? Wenn ja wie? (2 Punkte)
3. Kann ein Kern dessen Nukleonen im obersten besetzten Energieniveau mit 8 MeV gebunden sind über  $\alpha$ -Zerfall zerfallen? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
4. Wieso nimmt die Lebensdauer eines Kerns, der durch  $\alpha$ -Zerfall zerfällt, mit zunehmender kinetischen Energie des austretenden  $\alpha$ -Teilchens ab? Woher kommt die kinetische Energie des  $\alpha$ -Teilchens? Wie hängt die Lebensdauer von der kinetischen Energie des  $\alpha$ -Teilchens ab? (4 Punkte)

**Aufgabe 3: Kernspaltung****[LA: nur Teilaufgaben 2–5] (10 Punkte)**

1.  $^{236}\text{U}$  spaltet mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in zwei gleich große Kerne. Berechnen Sie die elektrostatische Energie, die dadurch frei wird, und vergleichen Sie diese mit der insgesamt freiwerdenden Energie. (2 Punkte)
2. In einem modifizierten Tröpfchenmodell ist die Deformationsenergie  $E_D$  für die Spaltung verantwortlich. Es gilt (siehe Vorlesung)

$$E_D = \varepsilon^2 \left( \frac{2}{5} a_s A^{2/3} - \frac{1}{5} a_c A^{-1/3} Z^2 \right).$$

Erklären Sie die Bedeutung der einzelnen Terme und stellen Sie ein Stabilitätskriterium auf. (2 Punkte)

3. Welcher dieser Kerne lässt sich nach diesem Modell am leichtesten spalten? Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit den Angaben in der Nuklidkarte.

a)  $^{228}\text{Th}$       b)  $^{236}\text{U}$       c)  $^{240}\text{Pu}$       d)  $^{243}\text{Pu}$  (2 Punkte)

4. Die Spaltbarriere für Uran beträgt etwa  $\Delta E_F \approx 6 \text{ MeV}$ , d.h. spontane Spaltung ist sehr unwahrscheinlich. In der Tabelle ist der Wirkungsquerschnitt  $\sigma_F$  für die induzierte Spaltung verschiedener Uran-Isotope durch thermische Neutronen aufgeführt. Wie erklären Sie die deutlichen Unterschiede für die verschiedenen Isotope? (2 Punkte)
5. Was erwarten Sie qualitativ für die Spalt-Wirkungsquerschnitte der verschiedenen Uran-Isotope im Falle schneller ( $E > 10 \text{ MeV}$ ) Neutronen? Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

Isotop	$\sigma_F$
$^{230}\text{U}$	20 b
$^{231}\text{U}$	300 b
$^{232}\text{U}$	76 b
$^{233}\text{U}$	530 b
$^{234}\text{U}$	0 b
$^{235}\text{U}$	580 b
$^{236}\text{U}$	0 b