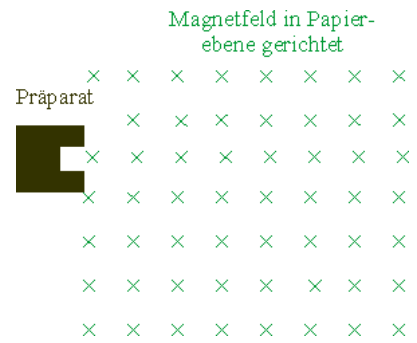


# Übungsaufgaben Kernphysik

## 1. Radioaktive Strahlung (zur Lösung)

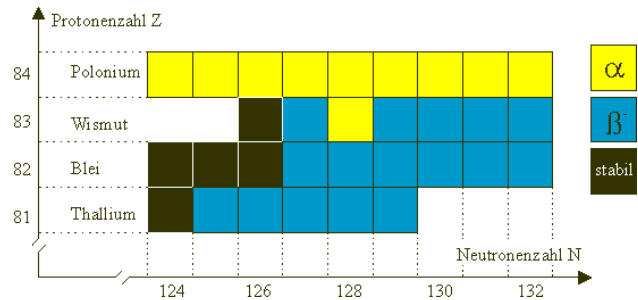
a) Welche Arten radioaktiver Strahlung gibt es?

b) Das skizzierte Präparat sende die in Teilaufgabe (a) beschriebenen Strahlungskomponenten aus. Das Präparat befinde sich in einem starken homogenen Magnetfeld, das in die Zeichenebene gerichtet ist. Zeichnen Sie unter Berücksichtigung aller Eigenschaften der einzelnen Komponenten deren Verlauf im Magnetfeld ein.



## 2. Zerfallsreihen (zur Lösung)

Bestimmen Sie mit Hilfe der nebenstehenden Karte die Zerfallsreihe von Po-216. Zeichnen Sie dazu die "Zerfallspfeile" in die Karte ein und geben Sie jeweils Mutter- und Tochterkern der Zerfälle mit Massezahl an.



## 3. Kernspaltung (zur Lösung)

Ein U-235-Kern wird durch ein Neutron gespalten. Die beiden Spaltprodukte sind instabil und gehen nach jeweils drei  $\beta$ -Zerfällen in die stabilen Kerne Ce-140 und Zr-94 über. Außerdem entstehen bei der Spaltung freie Neutronen.

a) Welche instabilen Kerne entstehen unmittelbar nach der Spaltung und über welche Zwischenkerne führen diese jeweils zu den stabilen Endprodukten?

b) Stellen Sie die Gleichung für die Gesamtreaktion von U-235 in Ce-140 und Zr-94 auf und berechnen Sie die dabei frei werdende Gesamtenergie.

c) Schätzen Sie rechnerisch ab, wie viele Millionen Liter Heizöl man verbrennen müsste, um den gleichen Energiebetrag zu erhalten, der als Folge der Spaltung von 1 kg U-235 insgesamt freigesetzt werden kann. (Heizwert von Heizöl: 42 MJ/kg, Dichte von Heizöl: 0,85 g/cm<sup>3</sup>)

## 4. Kernzerfall und $\gamma$ -Strahlung (zur Lösung)

Beim  $\beta$ -Zerfall von Ti-51 befinden sich die Tochterkerne unmittelbar nach dem Zerfall zunächst in einem von zwei Anregungszuständen. Die  $\beta$ -Strahlungsenergien sind maximal 2150 keV bzw. 1542 keV.

a) Geben Sie die Zerfallsgleichung an.

b) Skizzieren Sie ein geeignetes Energieniveauschema und erklären Sie damit, dass beim Zerfall von Ti-51 auch  $\gamma$ -Strahlung mit drei verschiedenen Quantenenergien auftritt.

c) Die kleinste auftretende  $\gamma$ -Quantenenergie beträgt 320 keV. Berechnen Sie die beiden anderen  $\gamma$ -Energien sowie die gesamte bei diesem Zerfall frei werdende Energie Q. Ordnen Sie im Energieniveauschema von Teilaufgabe b allen Übergängen ihre Energiebeträge zu.

## 5. Thermische Neutronen und Moderation (zur Lösung)

a) Um Neutronen abzubremsen, wird in Kernreaktoren oft Wasser als Moderator verwendet. Warum ist Wasser dafür gut geeignet?

b) Bei bestimmten Kernreaktoren wird auch Graphit als Moderator eingesetzt. Bei einem elastischen Stoß mit einem C-12-Kern verliert ein Neutron etwa 29 % seiner kinetischen Energie. Wie viele solcher Stöße sind mindestens nötig, um ein Neutron von 1 MeV auf unter 1 eV kinetische Energie abzubremsen?

c) Zum Nachweis thermischer Neutronen kann ein Zählrohr vom Geiger-Müller-Typ dienen, das eine borhaltige Gasfüllung enthält. Der Einfang eines langsamen Neutrons durch B-10 führt zu einer Kernreaktion, bei der ein  $\alpha$ -Teilchen entsteht. Geben Sie die betreffende Reaktionsgleichung an.

## Übungsaufgaben Kernphysik

### 6. Alter von Gletschereis (zur Lösung)

Bei Bohrungen in Gletscher werden Eisproben aus Schichten verschiedener Tiefe entnommen. Ihr Alter lässt sich mit Hilfe ihres H-3-Gehalts bestimmen. Das H-3 ist in der Atmosphäre praktisch nicht vorhanden, weil es keine natürlichen Entstehungsprozesse gibt. In den 1960er Jahren wurde es jedoch durch Kernwaffentests freigesetzt. Das Zerfallsprodukt kann das Eis nicht verlassen und reichert sich darin an. Daher kann zur Altersbestimmung der Proben das Anzahlverhältnis von Mutter- und Tochterkernen des H-3-Zerfalls verwendet werden.

a) Gehen Sie zunächst davon aus, dass zum Zeitpunkt des H-3-Einschlusses kein He-3 im Eis vorhanden war. Weisen Sie nach, dass dann für das Anzahlverhältnis  $k$  von Mutter- zu Tochterkernen gilt:

$$k = \frac{1}{e^{\lambda t} - 1},$$

wobei  $\lambda$  die Zerfallskonstante für H-3 ist. Welches Alter ergibt sich für eine Eisprobe, bei der  $k = 0,14$  gemessen wird?

b) Ist das tatsächliche Alter der Probe größer oder kleiner als der berechnete Wert, wenn die zum Zeitpunkt der Entstehung der Probe bestehende He-3-Konzentration nicht vernachlässigbar ist? Begründen Sie Ihre Antwort.

### 7. Dichte der Kernmaterie (zur Lösung)

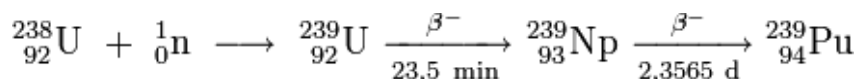
a) Zeigen Sie mit Hilfe der empirisch gefundenen Formel für den Kernradius, dass die Dichte der Atomkerne eine Konstante, also nahezu unabhängig von der Nukleonenzahl  $A$  ist.

b) Berechnen Sie den ungefähren Wert der Kerndichte.

c) Ein Neutronenstern hat etwa die Dichte der Kernmaterie. Berechnen Sie den Radius eines Neutronensterns, der die Masse unserer Sonne hat und vergleichen Sie mit dem Sonnenradius.

### 8. Herstellung von Plutonium

Plutonium wird künstlich in Kernreaktoren erzeugt, da es in der Natur nicht vorkommt. Dazu werden U-238-Kerne mit Neutronen beschossen. Pu-239 bildet sich dadurch gemäß folgender Reaktionskette:



Die Massen der beteiligten Kerne sind:

$$\begin{aligned} m(\text{U-238}) &= 238,050783 \text{ u}, \\ m(\text{U-239}) &= 239,054288 \text{ u}, \\ m(\text{Np-239}) &= 239,052931 \text{ u}, \\ m(\text{Pu-239}) &= 239,052157 \text{ u}. \end{aligned}$$

a) Berechnen Sie aus den Kernmassen und Nukleonenzahlen die Bindungsenergien  $E_A$  pro Nukleon (in MeV) für die vier Kerne.

b) Vergleichen Sie Ihre ermittelten Bindungsenergien pro Nukleon mit der Vorhersage des Tröpfchenmodells:

$$E_A [\text{MeV}] = 14 - 13 A^{-1/3} - 0,12 A^{2/3}$$

c) Ermitteln Sie die Energiebilanz für jede der drei Kernreaktionen. Verlaufen sie exotherm oder endotherm? Muss das Neutron in der ersten Reaktion prinzipiell eine Mindestenergie (in Form von kinetischer Energie) mitbringen, um vom U-238 eingefangen werden zu können?