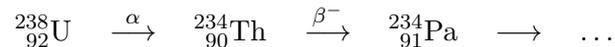


# Übungen zur Kernphysik

## Serie 4: Rund um radioaktive Zerfälle

### 1. Zerfallsreihen

Die bei Zerfällen entstehenden Tochterkerne sind oftmals selber wieder radioaktiv. Beispielsweise zerfällt  ${}^{238}_{92}\text{U}$  via  $\alpha$ -Zerfall in  ${}^{234}_{90}\text{Th}$ , das seinerseits via  $\beta^-$ -Zerfall in  ${}^{234}_{91}\text{Pa}$  übergehen kann. Letzteres ist auch instabil. Man spricht von **Zerfallsreihen**:



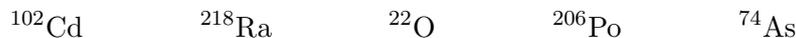
Zerfallsreihen können sehr lange sein, wie folgende Beispiele veranschaulichen:

- Schreibe die Zerfallsreihe auf, welche mit  ${}^{241}_{94}\text{Pu}$  beginnt und dann die folgenden Zerfälle beinhaltet:  $\beta^-, \alpha, \alpha, \beta^-, \alpha, \alpha, \beta^-, \alpha, \alpha, \alpha, \beta^-, \alpha, \beta^-$ .
- Das leichteste bisher entdeckte Uran-Isotop U-217 zerfällt über die folgende Zerfallsreihe:  $\alpha, \alpha, \alpha, \beta^+, \alpha, \beta^+, \beta^+, \beta^+$ . Welcher stabile Kern steht am Ende dieser Zerfallsreihe?

### 2. Zerfallsarten erraten...

Im Tabellenanhang A hast du eine Liste der stabilen Nuklide erhalten. Diese Liste führt die "schwarzen Kästchen" in der Karlsruher Nuklidkarte auf, beschreibt also in gewisser Weise die stabile Mittellinie in der Nuklidkarte – die Endstadien radioaktiver Zerfallsreihen.

Ausgehend davon kannst du bei einem nicht-stabilen Kern **vermuten**, ob er via  $\alpha$ -,  $\beta^+$ - oder  $\beta^-$ -Kanal zerfällt. Probiere es an den folgenden Kernen aus:



**Tipp:** Führe dir vor Augen, wo der genannte Kern in der Karlsruher Nuklidkarte zu finden ist.

### 3. Neutrinophysik

Das Neutrino wurde 1930 von **Wolfgang Pauli** postuliert (= vorausgesagt). Grund dafür war ein scheinbar verlorengelender Energieanteil beim  $\beta^-$ -Zerfall. Das zu diesem Zeitpunkt nicht detektierbare Neutrino sollte die fehlende Energie tragen.

Erst im Jahre 1956 gelang der experimentelle Nachweis von Neutrinos (Cowan, Reines). Warum gelang dieser Nachweis erst 26 Jahre nach der Postulierung des Teilchens? Die Antwort ist relativ einfach: Will man ein Teilchen finden, welches mit fast nichts anderem wechselwirkt, so braucht man eine immense Anzahl davon, damit doch eine kleine Chance besteht, eine entsprechende Wechselwirkung zu beobachten. Ein Kernspaltungsreaktor ist eine Neutrinoproduktionsstätte erster Güte. Erzeugt werden v.a. Anti-Elektronneutrinos  $\bar{\nu}_e$ .

- Erkläre, weshalb ein Kernreaktor diese Teilchen in rauen Mengen erzeugt.
- Ebenso produziert ein Reaktor eine starke  $\gamma$ -Strahlung, weshalb er möglichst gut abgeschirmt sein muss. ( $\gamma$ -Strahlung ist, verglichen mit  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung, enorm durchdringend.) Wie kommt es zu diesem massiven Ausstoß von  $\gamma$ -Quanten?

#### 4. Das Innenleben eines $\gamma$ -Strahlers

Von einer radioaktiven Quelle sei bekannt, dass sie  $\gamma$ -Strahlung aussendet.

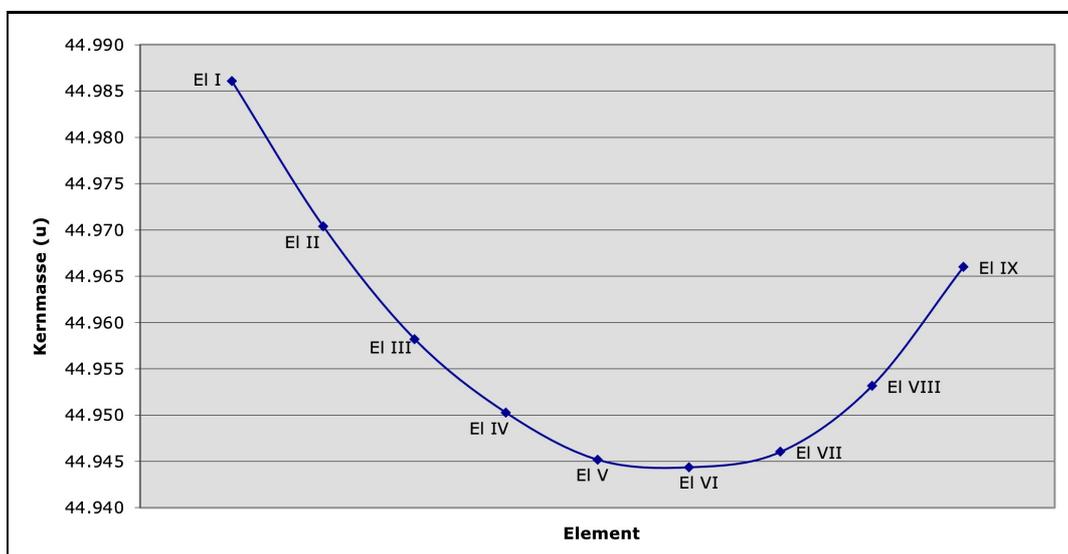
- (a) Welche Zerfallsart läuft in dieser Quelle mit Sicherheit ab?

**Achtung Fangfrage!** Die Antwort lautet: Ohne weitere Informationen lässt sich keine Aussage machen! Allerdings solltest du dir genau überlegen, wie man zu dieser Antwort gelangt.

- (b) Könnte man durch gleichzeitige Verwendung mehrerer  $\gamma$ -Detektoren auf das Vorhandensein einer bestimmten Zerfallsart schließen?

#### 5. Nuklide mit Massenzahl 45

Das Diagramm unten zeigt die Massen neun verschiedener Atomkerne mit  $A = 45$ . Die neun Kerne gehören zu neun verschiedenen chemischen Elementen (E1 I bis E1 IX), deren Ordnungszahlen nebeneinander liegen. Offensichtlich gibt es einen nicht zufälligen Zusammenhang zwischen Ordnungszahl und Masse. Der Graph zeigt ein Minimum bei E1 VI.



- (a) Durch welchen spontanen Prozess kann sich z.B. ein Kern von E1 III in einen von E1 IV umwandeln? Welcher spontane Prozess läuft in die Gegenrichtung, z.B. von E1 VIII zu E1 VII ab? Begründen deine Antwort.

- (b) Ordne nun den Elementen E1 I bis E1 IX ihre tatsächlichen Elementnamen zu! Schildere die Überlegung, welche du dieser Zuordnung zugrunde legst.

**Hinweis:** Bei dieser Aufgabe gibt es nichts zu rechnen, sondern auf dem Hintergrund von Aufgabe (a) weiterzudenken. . . !

## 6. Ein wichtiger Wert für die Kern- und Teilchenphysik

Soll bei einem  $\beta^-$ - oder einem  $\beta^+$ -Zerfall ein Elektron oder Positron neu erzeugt werden, so ist dafür ein bestimmter Mindestbetrag an überschüssiger Energie nötig, denn diese Teilchen besitzen schliesslich je eine Elektronenmasse  $m_e$ . Wird nicht mindestens die Energie

$$E_e = m_e c^2$$

frei, so kann der Zerfall gar nicht stattfinden. Mitunter deshalb ist diese sogenannte **Ruheenergie**  $E_e$  des Elektrons/Positrons ein ziemlich wichtiger Wert für die Kern- resp. Teilchenphysik.

- Berechne die Ruheenergie  $E_e$  des Elektrons/Positrons in MeV. (Wenn du Teilchenphysiker\*in werden möchtest, kann es nicht schaden sich diesen Wert zu merken. ☺)
- Wie viel Energie wird bei der Paar-Annihilation eines  $e^-e^+$ -Paares freigesetzt?
- Das instabile Palladium-Nuklid  ${}_{46}^{103}\text{Pd}$  ist massiger als das stabile Rhodium-Nuklid  ${}_{45}^{103}\text{Rh}$ :

$$m_A({}^{103}\text{Pd}) = 102.906\,111\text{ u} \quad \text{und} \quad m_A({}^{103}\text{Rh}) = 102.905\,504\text{ u}$$

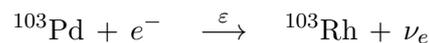
Zeige, dass Pd-103 nicht via  $\beta^+$ -Zerfall in Rh-103 übergehen kann und fasse dann nochmals in Worte, weshalb dieser Zerfall so nicht passiert.

**Tipp:** Berechne den Energieumsatz eines solchen eben nicht stattfindenden Zerfalls.

**Hinweis:** In Aufgabe 7 erfährst du, durch welche andere mit dem  $\beta^+$ -Zerfall sehr verwandte Zerfallsart dieser Übergang dennoch vonstatten gehen kann.

## 7. Eine weitere Zerfallsart: Der Elektroneneinfang

Neben den bisher betrachteten Zerfallsarten gibt es auch noch andere, jedoch weitaus weniger häufig vorkommende Wege, wie sich ein Kern umwandeln kann. So besteht z.B. bei manchen instabilen Kernen mit zu geringer Neutronenzahl die Möglichkeit sich ein Elektron aus ihrer Umgebung zu "schnappen". Man nennt diesen Vorgang **Elektroneneinfang** (Abkürzung  $\varepsilon$ ). Hier ein konkretes Beispiel, wie sich ein Kern bei einem Elektroneneinfang umwandelt:



- Was passiert wohl beim Elektroneneinfang  $\varepsilon$  im Kern drin?  
Stelle eine Vermutung auf und sage, welcher anderen Zerfallsart der Elektroneneinfang stark gleicht, worin er sich allerdings auch deutlich von dieser unterscheidet.  
**Tipp:** Mache dir nochmals klar, was beim  $\alpha$ -,  $\beta^-$ -,  $\beta^+$ - und  $\gamma$ -Zerfall im Kern abläuft.
- Man könnte argumentieren: Um den Zerfall via Elektroneneinfang zu verhindern, muss man nur darauf achten, dass der Kern kein Elektron zu "schnappen" bekommt. Weshalb ist diese Art der Zerfallsverhinderung in der Natur kaum machbar?
- Berechne die bei der obigen Reaktion freigesetzte Energie und zeige damit, dass sich Pd-103 tatsächlich in Rh-103 umwandeln kann (vgl. Aufgabe 6.(c)).