

Lösungen zur Kernphysik – Serie 1

1. Nuklidangaben

Es ergeben sich die folgenden 4 Nuklide: ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{153}_{63}\text{Eu}$, ${}^{239}_{93}\text{Np}$ und ${}^{147}_{62}\text{Sm}$.

2. Ich bin auch ein Nuklid

Das Elektron ist einfach negativ geladen $\Rightarrow "Z = -1"$. Allerdings besteht es nicht aus drei Quarks, sondern ist ein Elementarteilchen, bei dem bis heute alles daraufhin deutet, dass es selber keine innere Struktur hat. D.h. es ist kein Nukleon $\Rightarrow A = 0$. Zusammen ergibt sich: ${}^0_{-1}e^-$.

3. Das natürliche Isotopengemisch beim Element 38: Strontium

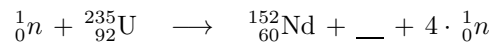
(a) Im Tabellenanhang A finden wir für Strontium **4 stabile Isotope**, nämlich Sr-84, Sr-86, Sr-87 und Sr-88. Ziehen wir von der Nukleonenzahl jeweils 38 Protonen ab, so erhalten wir **46, 48, 49 und 50 Neutronen**.

(b) Aus dem Isotopengemisch ergibt sich der Massenwert 87.62 u im Periodensystem:

$$\begin{aligned} m_A(\text{Sr}) &= \text{rel.H.}({}^{84}\text{Sr}) \cdot m_A({}^{84}\text{Sr}) + \text{rel.H.}({}^{86}\text{Sr}) \cdot m_A({}^{86}\text{Sr}) \\ &\quad + \text{rel.H.}({}^{87}\text{Sr}) \cdot m_A({}^{87}\text{Sr}) + \text{rel.H.}({}^{88}\text{Sr}) \cdot m_A({}^{88}\text{Sr}) \\ &= 0.0056 \cdot 83.913\,425\,\text{u} + 0.0986 \cdot 85.909\,262\,\text{u} + 0.0700 \cdot 86.908\,879\,\text{u} + 0.8258 \cdot 87.905\,614\,\text{u} \\ &= \underline{\underline{87.617\,\text{u}}} \end{aligned}$$

4. Erhaltungsgrößen

Ich betrachte die erste Reaktion ausführlich. Zunächst sind die fehlenden Nukleonen- und Ladungszahlen zu ergänzen:

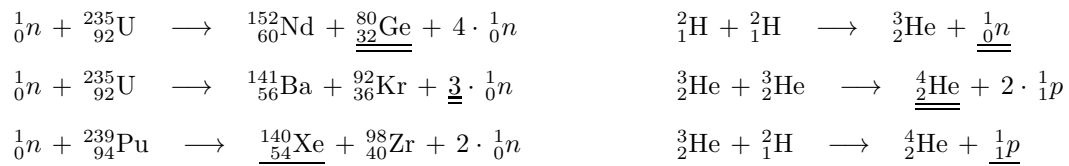


Die Erhaltung der Baryonenzahl und die Ladungserhaltung liefern die fehlenden Zahlen:

$$1 + 235 \stackrel{!}{=} 152 + A + 4 \cdot 1 \quad \Rightarrow \quad A = 80 \quad \text{und} \quad 0 + 92 \stackrel{!}{=} 60 + Z + 4 \cdot 0 \quad \Rightarrow \quad Z = 32$$

Somit handelt es sich beim gesuchten Nuklid um das Germanium-Nuklid ${}^{80}_{32}\text{Ge}$.

Hier der Lösungsüberblick zu allen sechs Reaktionen:



Es ist also sehr sinnvoll, zur Kennzeichnung von Nukliden die Nukleonenzahl A und die Ladungszahl Z zu verwenden, weil diese beiden Angaben eben zu Erhaltungsgrößen gehören und ihre Gesamtsumme bei sämtlichen bekannten Prozessen dieselbe bleibt!

5. Die Berechnung einer Kernmasse

Zunächst berechnen wir die Masse des gesamten Nuklids in Kilogramm. Dafür benötigen wir zusätzlich zum Tabellenwert lediglich den Wert der Atommasseneinheit u:

$$m_A = 177.943\,698\,\text{u} = 177.943\,698 \cdot 1.660\,539 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} = 2.954\,824\,503 \cdot 10^{-25}\,\text{kg}$$

Hafnium hat die Ordnungszahl 72. Ein neutrales Hafnium-Atom enthält demnach 72 Elektronen in seiner Hülle. Von der Nuklidmasse müssen wir also 72 Elektronenmassen abziehen um die Kernmasse zu erhalten:

$$m_{\text{Kern}} = m_A - Z \cdot m_e = 2.954\,824\,503 \cdot 10^{-25}\,\text{kg} - 72 \cdot 9.109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} = \underline{\underline{2.954\,169 \cdot 10^{-25}\,\text{kg}}}$$

Für spätere Rechnungen ist es durchaus richtig für Kernmassen 7 signifikante Ziffern anzugeben.

6. Glossar

Nukleon: Ein "Kernteilchen", d.h. ein Baustein im Kern, also ein Neutron oder ein Proton.

Angelehnt an diesen Begriff ist die **Nukleonen-** oder **Massenzahl** A . Sie steht für die Anzahl Nukleonen im Kern eines bestimmten Nuklids und gibt deshalb auch gerade die ungefähre Masse des Kerns resp. des Atoms in der Atommasseneinheit u an.

Nuklid & Isotop: Die beiden Begriffe sind gleichbedeutend. Je nach Kontext verwendet man eher den einen oder eher den andern. Ein Nuklid oder Isotop ist ein (elektrisch neutrales) Atom mit einer ganz bestimmten Anzahl Protonen und Neutronen im Kern, d.h., jedes Nuklid gehört zu einer bestimmten Kombination (Z, N) . Nuklide mit der gleichen Protonenzahl Z gehören zu ein- und demselben chemischen Element. In diesem Zusammenhang nennt man alle zu einem Element gehörenden Nuklide die Isotope des entsprechenden Elementes.

Ordnungszahl & Element: Gleichbedeutend mit der Ordnungszahl Z sind die Begriffe (Kern-)Ladungs- oder Protonenzahl. Damit wird die Anzahl Protonen in einem bestimmten Atom resp. Kern beschrieben. Atome mit derselben Ordnungszahl Z gehören zum gleichen Element, denn diese Protonenzahl bestimmt die Ladung des Kernes, dadurch den Aufbau der negativen Elektronenhülle und somit auch die chemischen Eigenschaften des Atoms. Der Name Ordnungszahl wird eher in der Chemie verwendet. Der beste Begriff für die Kernphysik ist die Ladungszahl (auch für Teilchen, die keine Kerne sind), denn die Zahl Z links unten in der Nuklidschreibweise steht stets für eine Anzahl Elementarladungen.

Massenzahl: Diese Zahl wird mit A abgekürzt, steht in der Nuklidschreibweise links oben vom Elementsymbol und beschreibt die Anzahl Nukleonen, also Protonen und Neutronen, aus denen ein Kern insgesamt besteht, weshalb die Zahl auch als Nukleonenzahl bezeichnet wird.

Massenzahl heisst die Zahl, weil sie ziemlich genau die Masse des Atoms in der Atommasseneinheit u angibt. Jedes Proton und jedes Neutron besitzt nämlich ungefähr die Masse $1 u$ und dem gegenüber ist die Elektronenmasse verschwindend klein (ca. $\frac{1}{2000} u$). D.h., wenn ein Kern A Protonen und Neutronen enthält, beträgt die Masse des Kerns resp. des Atoms eben gerade $A u$. Solange man keine Energieumsätze bei Kernreaktionen berechnen möchte, genügt diese Zahl für eine Massenangabe des Atoms.

Bei Teilchen, die keine Nukleonen sind resp. enthalten, muss $A = 0$ gesetzt werden.

Karlsruher Nuklidkarte: Sie ist eine Übersicht aller möglichen Nuklide (ca. 3000). Zu jedem Kästchen ($\hat{=}$ Nuklid) gehört eine Neutronenzahl N (= Stelle auf der horizontalen Achse) und eine Protonenzahl Z (= Stelle auf der vertikalen Achse). Die Nuklide einer Zeile haben alle dieselbe Protonenzahl und gehören somit zum gleichen Element.

Schwarze Kästchen kennzeichnen die stabilen Kerne, die demzufolge im natürlichen Isotopengemisch vorkommen. Farbige Kästchen stehen für instabile, also radioaktive Nuklide. Schwarze und dennoch farbige Nuklide sind primordiale Radionuklide, also im Prinzip radioaktive Nuklide, die aber aufgrund ihrer sehr grossen Halbwertszeit immer noch im natürlichen Isotopengemisch vorhanden sind.

Natürliches Isotopengemisch: In der Natur kommen fast ausschliesslich stabile Atomkerne vor – die instabilen sind bereits radioaktiv zerfallen. Dabei gibt es innerhalb eines Elementes unterschiedliche Häufigkeiten für die verschiedenen Isotope, was auf den Erzeugungsmechanismus dieser Nuklide im Endstadium eines früheren Sternes zurückzuführen ist. Diese fixe Häufigkeitzusammensetzung innerhalb jedes Elementes nennen wir das natürliche Isotopengemisch.

Erhaltungsgrösse: Eine physikalische Grösse, deren aufsummierter Wert sich bei einem im Prinzip beliebigen Prozess nicht verändert. Typische Ihnen bekannte Beispiele sind die Energie, die elektrische Ladung und bisher auch die Masse. In der Kernphysik ist aber genau diese Masse eben keine Erhaltungsgrösse mehr!

Ladungs- und Baryonenzahlerhaltung: Bei sämtlichen Kernreaktionen bleiben zwei gut zählbare Grössen erhalten, nämlich die elektrische Ladung (angegeben als Vielfaches der Elementarladung e) und die Anzahl Baryonen.

Als Baryon bezeichnet man jedes Teilchen, das sich aus 3 Quarks zusammensetzt. Dazu gehören auch das Proton und das Neutron. Bei den von uns betrachteten Kernprozessen können wir also direkt von einer Nukleonenzahlerhaltung sprechen.

Eben weil Ladung und Nukleonenzahl Erhaltungsgrössen sind, notieren wir sie in der Nuklidschreibweise links unten resp. oben. Bei jeder Kernreaktionsgleichung muss die Summe über alle oberen Zahlen vorher gleich der SUMme über alle oberen Zahlen danach sein. Gleiches gilt für die Zahlen unten.