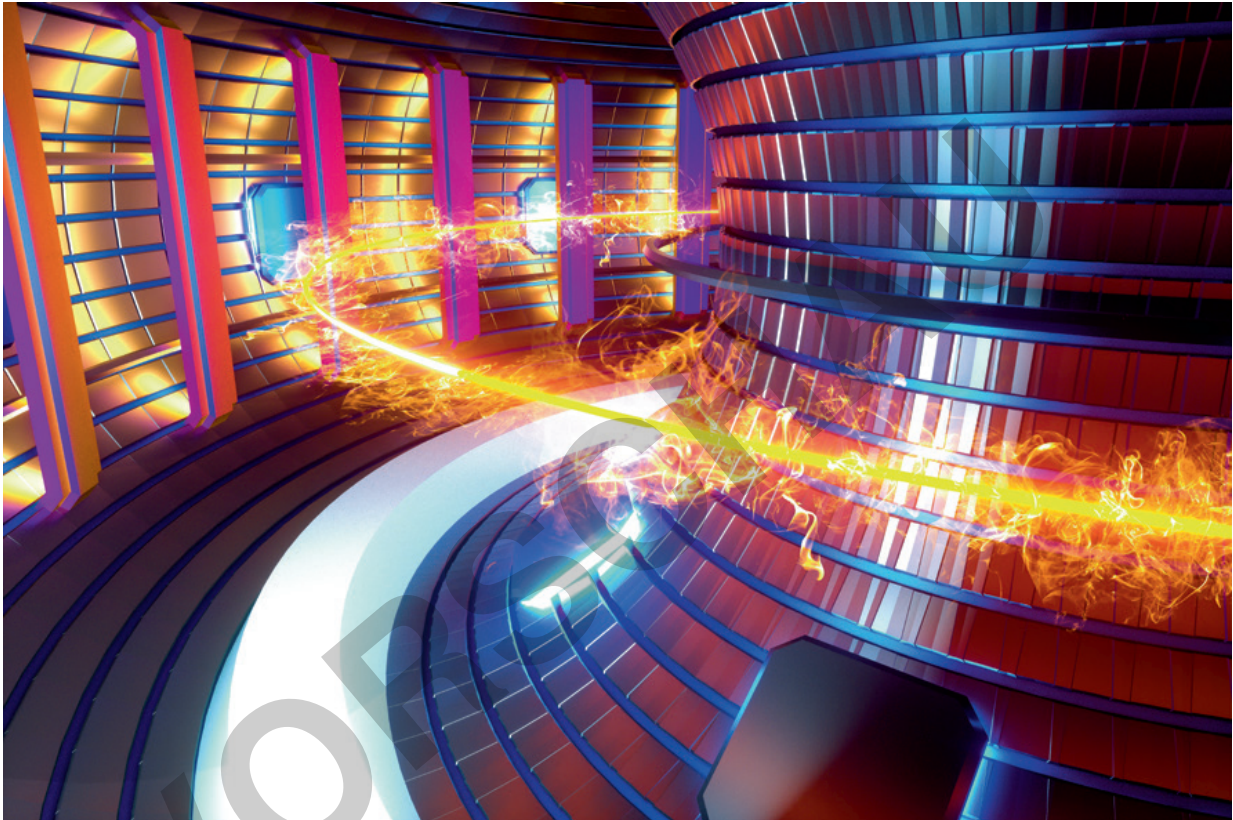


Strahlung, Spaltung, Zerfall – Aufgabensammlung zur Kernphysik

Erwin Kunesch



© MARHARYTA MARKO/iStock/Getty Images Plus

In dieser Einheit werden den Schülerinnen und Schülern zentrale Elemente der Kernphysik anhand von Übungsaufgaben vermittelt. Begleiten Sie Ihre Klasse auf dem Weg von den einfachen Grundlagen der Physik der Atomkerne hin zu weiterführenden Aspekten von Kernumwandlungen und radioaktiver Strahlung. Dabei kommen auch Problemstellungen wie die Anwendungen des Zerfallsgesetzes, einschließlich der damit verbundenen Thematik der Halbwertszeit ausführlich zum Tragen. Am Ende der Einheit steht eine umfangreiche Lernerfolgskontrolle zur Verfügung.

Strahlung, Spaltung, Zerfall – Aufgabensammlung zur Kernphysik

Oberstufe (grundlegend, weiterführend)

Erwin Kunesch

Hinweise	1
M1 Aufbau des Atomkerns	3
M2 Massendefekt und Kernbindungsenergie	4
M3 Kernreaktionsgleichungen	5
M4 Kernumwandlung – Kernspaltung – Kernfusion	6
M5 Strahlungsarten	7
M6 Nachweismethoden radioaktiver Strahlung	8
M7 Zerfallsgesetz – Halbwertszeit	9
M8 Halbwertsdicke	11
M9 Kernphysik querbeet – Testen Sie Ihr Wissen!	12
Lösungen	14

Die Schülerinnen und Schüler lernen:

die Grundlagen der Kernphysik kennen und bearbeiten dazu eine Reihe von Übungsaufgaben.

Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt **FS** Formelsammlung **LEK** Lernerfolgskontrolle
DA Datenauswertung **IT** Internet

Thema	Material	Methode
Aufbau des Atomkerns	M1	AB
Massendefekt und Kernbindungsenergie	M2	AB, FS
Kernreaktionsgleichungen	M3	AB
Kernumwandlungen – Kernspaltung – Kernfusion	M4	AB, FS, IT
Strahlungsarten	M5	AB, IT
Nachweismethoden radioaktiver Strahlung	M6	AB, IT
Zerfallsgesetz – Halbwertszeit	M7	AB, FS, DA
Halbwertsdicke	M8	AB, FS
Kernphysik	M9	AB, FS, LEK

© RAABE 2024

Kompetenzprofil:

Inhalt: Radioaktive Strahlung, Unterscheidung von Strahlungsarten, natürliche Zerfallsreihen, Nuklide, Zerfallsgesetz, Altersbestimmung, Halbwertsdicke, Kernumwandlung und -reaktionen, Kettenreaktion, Kernspaltung, Kernfusion, Chancen und Risiken der Kernenergietechnik

Medien: Fachliteratur, Formelsammlung, Internet

Kompetenzen: Erklären von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (S1), Anwenden bekannter mathematischer Verfahren (S7), Erklären der in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen mithilfe bekannter Modelle und Theorien (E6), Reflektieren der Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimente für die physikalische Erkenntnisgewinnung (E9), Erläutern der Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation aus verschiedenen Perspektiven (B1)

Aufbau des Atomkerns

M1

- Zu den Elementarteilchen in der Kernphysik zählen Proton, Neutron, Elektron und Positron.
 - Geben Sie deren Schreibweise unter Verwendung der Symbole e, n und H mit der Nennung der Ladungszahl und der Massenzahl an.
 - Entscheiden Sie, welches der Elementarteilchen ein Anzeichen für künstliche Radioaktivität ist.
- Geben Sie die Anzahl der Nukleonen, Protonen, Neutronen und Elektronen folgender Atome an:
 - ${}^3_{\square}\text{He}$
 - ${}^{12}_{\square}\text{C}$
 - ${}^{206}_{\square}\text{Pb}$
- Ermitteln Sie die Atome, die
 - 38 Neutronen und 32 Elektronen
 - 32 Protonen und 40 Neutronen
 - 4 Neutronen und 9 Nukleonen
 - 235 Nukleonen und 92 Elektronen besitzen.
- Entscheiden Sie, welche der folgenden Aussagen richtig sind und begründen Sie Ihre Antwort:
 - Isotope sind Elemente mit gleicher Kernladungszahl.
 - Isotope sind Elemente mit gleicher Nukleonenzahl.
 - Isotope sind Elemente mit gleicher Neutronenzahl.
 - Isotope sind Elemente mit gleicher Elektronenzahl.
- Von Wasserstoff gibt es drei Isotope.

Geben Sie deren Namen sowie die chemische Bezeichnung in ausführlicher Form und in Kurzschreibweise an und vergleichen Sie die Isotope hinsichtlich Kernladungszahl, Nukleonenzahl, Neutronenzahl sowie Elektronenzahl.
- Es existieren kleinere Teilchen, die am Kernaufbau beteiligt sind, sogenannte Quarks, z. B. up-Quarks (u), down-Quarks (d), strange-Quarks (s), charm-Quarks (c), bottom-Quarks (b) und top-Quarks (t).
 - Jedes dieser Quarks besitzt entweder eine negative Ladung $-1/3$ der Elementarladung e oder $+2/3$ der Elementarladung e. Ordnen Sie die Quarks den richtigen Ladungen zu.
 - Geben Sie an, aus welchen Quarks ein Proton bzw. ein Neutron zusammengesetzt ist.

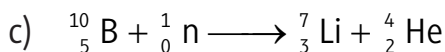
Kernreaktionsgleichungen

M3

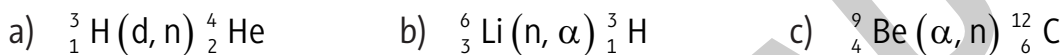
1. Viele Kernprozesse können durch eine abkürzende Schreibweise dargestellt werden. Dabei werden die Symbole n für Neutron, p für Proton, d für Deuteron (${}^2_1\text{H}$), α für alpha-Teilchen und e für Elektron verwendet.

Beispiel: ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{11}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$ lässt sich auch schreiben als ${}^{14}_7\text{N}(\text{p}, \alpha){}^{11}_6\text{C}$.

Stellen Sie die folgenden Reaktionsgleichungen in abkürzender Schreibweise dar:



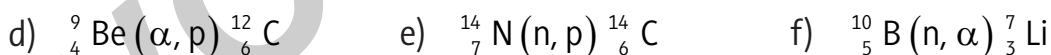
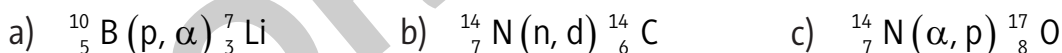
2. Stellen Sie folgende Reaktionsgleichungen in ausführlicher Schreibweise dar:



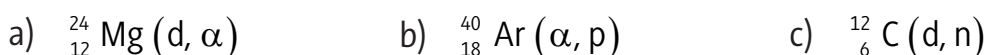
3. Vervollständigen Sie folgende Kernreaktionsgleichungen und geben Sie auch den Namen des fehlenden Teilchens an:



4. Entscheiden Sie durch Rechnung, ob folgende Reaktionen möglich sind:



5. Stellen Sie die Bezeichnungen der nachfolgenden Kernprozesse in ausführlicher Schreibweise dar und ergänzen Sie:



6. Trifft ein Deuteron auf Deuterium, so sind zwei Reaktionen möglich:

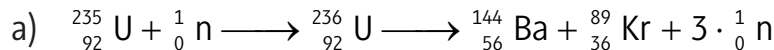
(1) es entsteht Tritium und ein Proton wird ausgesandt.

(2) es entsteht ein Heliumkern mit 3 Nukleonen und ein Neutron wird ausgesandt.

a) Geben Sie in beiden Fällen die Kernreaktionsgleichung an.

b) Ermitteln Sie, in welchem Fall mehr Energie frei wird.

2.



b) Die Summe aus der Atommasse des Urans 235 und des Neutrons ist

$$m_1 = 235,04392 \text{ u} + 1,008665 \text{ u} = 236,052585 \text{ u}.$$

Für die gesamte Atommasse auf der rechten Seite der Gleichung erhalten wir

$$m_2 = 143,92295281 \text{ u} + 88,9176306 \text{ u} + 3 \cdot 1,008665 \text{ u} = 235,866784 \text{ u}.$$

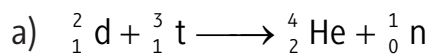
Das führt zu einem Massendefekt von

$$m_1 - m_2 = 236,052585 \text{ u} - 235,866784 \text{ u} = 0,18600659 \text{ u}.$$

c) Der dem Massendefekt entsprechende Energiewert beträgt

$$0,1864313 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 173,265 \text{ MeV} \approx 2 \cdot 10^2 \text{ MeV}.$$

3.



b) Auf der linken Seite der Reaktionsgleichung erhalten wir als Summe der Atommassen

$$m_1 = 2,014102 \text{ u} + 3,016049 \text{ u} = 5,030151 \text{ u}.$$

Die rechte Seite ergibt

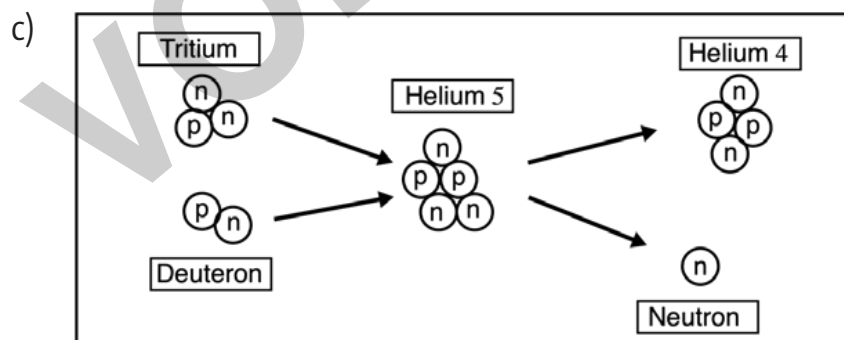
$$m_2 = 4,002603 \text{ u} + 1,008665 \text{ u} = 5,011268 \text{ u}.$$

Das führt zu einem Massendefekt

$$m_1 - m_2 = 5,030151 \text{ u} - 5,011268 \text{ u} = 0,018883 \text{ u}.$$

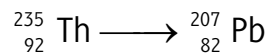
Die diesem Massendefekt entsprechende Reaktionsenergie beträgt damit

$$0,018883 \cdot 931,5 \text{ MeV} \approx 18 \text{ MeV}.$$

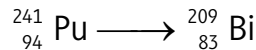


Skizze: Erwin Kunesch

d) Bei der Kernfusion treten keine schädlichen Nebenprodukte auf, während bei der Kernspaltung stark strahlender Atommüll anfällt. Außerdem hätte eine Störung einen Abfall der Temperatur zur Folge, was zu einem Abbruch der Reaktion führen würde. Dagegen besteht bei einer Störung während der Kernspaltung die Gefahr einer weiteren enormen unkontrollierten Erhitzung (Beispiel: Fukushima, 2011).



Die Differenz der Massenzahlen beträgt $235 - 207 = 28$, was auf 7 Alphazerfälle schließen lässt. Das hätte auch 14 Verluste bei den Kernladungszahlen zur Folge. Der Unterschied zwischen den Kernladungszahlen beträgt aber nur 10, also haben auch noch 4 Betazerfälle stattgefunden.



Die Differenz der Massenzahlen beträgt $241 - 209 = 32$, was auf 8 Alphazerfälle schließen lässt. Das hätte auch 16 Verluste bei den Kernladungszahlen zur Folge. Der Unterschied zwischen den Kernladungszahlen beträgt aber nur 11, also haben auch noch 5 Betazerfälle stattgefunden.

Lösungen (M6)

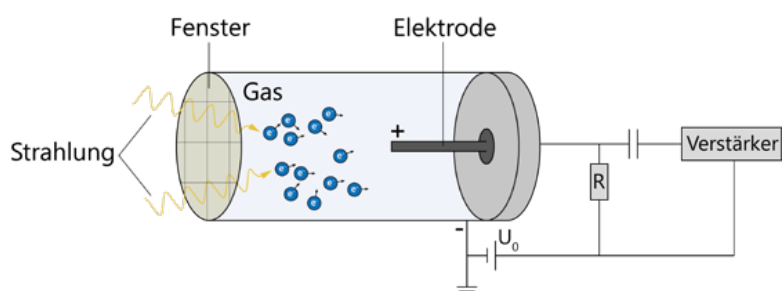
1.

a) Ionisationskammer:

Unter einer Ionisationskammer versteht man ein mit einem Gas gefülltes Gefäß in dessen Innerem sich zwei Elektroden befinden. Die eine Elektrode besteht i. A. aus der mit einer Metallschicht überzogenen Innenwand. Die andere Elektrode befindet sich isoliert im Innenraum des Gefäßes. Gelangen nun radioaktive Strahlen in den Innenraum des Gefäßes, so besitzen sie dort eine ionisierende Wirkung. Die dabei entstandenen Ionen werden von den jeweils entgegengesetzt geladenen Elektroden abgesaugt. Die hierbei auftretenden Strom- und Spannungstöße können gemessen werden.

b) Geiger-Müller-Zählrohr:

Das Geiger-Müller-Zählrohr oder Auslösezählrohr arbeitet nach dem Prinzip der Ionisationskammer. Der zylindrische Außenmantel besteht aus Metall und stellt eine Elektrode dar. Die andere Elektrode besteht aus einem dünnen Draht im Inneren des Zylinders, der von der Außenwand isoliert ist. Um die Durchlässigkeit für radioaktive Teilchen geringerer Energie zu gewährleisten, ist entweder die Außenwand des Zählrohrs im mittleren Teil sehr dünn, oder das Zählrohr besitzt an der Stirnseite ein kleines Glimmerfenster.



Skizze: Alexander Friedrich

Mit der Zerfallskonstante und der Zeit t ,

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{5370 \text{ a}}, t = 1000 \text{ a},$$

ergibt sich

$$e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{\ln(2)}{5370 \text{ a}} \cdot 1000 \text{ a}}$$

So besteht nach 1000 a noch eine Aktivität von

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{5370 \text{ a}} \cdot 1000 \text{ a}} = A_0 \cdot 0,87891.$$

Der noch vorhandene Bruchteil der Anfangsaktivität beträgt damit 87,9 %. Der verloren gegangene Bruchteil ist also 12,1 %.

3. Bei diesen Teilaufgaben ist zu unterscheiden, ob der Anteil der zerfallenen Atome oder der Anteil der noch vorhandenen Atome gegeben ist.

a) $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ Dabei steht fest, dass die Anzahl der noch vorhandenen Atome $100 \% - 14,3 \% = 85,7 \% = 0,857$ beträgt.

Damit setzen wir an:

$$0,857 \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow 0,857 = e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow \ln(0,857) = -\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t$$

$$\Rightarrow T_{1/2} = -\frac{\ln(2)}{\ln(0,857)} \cdot t = -\frac{\ln(2)}{\ln(0,857)} \cdot 10 \text{ d} \approx 45 \text{ d}.$$

b) $0,852 \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow 0,852 = e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow \ln(0,852) = -\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t$

$$\Rightarrow T_{1/2} = -\frac{\ln(2)}{\ln(0,852)} \cdot t = -\frac{\ln(2)}{\ln(0,852)} \cdot 2,5 \text{ a} \approx 10,8 \text{ a}$$

c) $\frac{2}{3} \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow \frac{2}{3} = e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t} \Leftrightarrow \ln\left(\frac{2}{3}\right) = -\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot t$

$$\Rightarrow T_{1/2} = -\frac{\ln(2)}{\ln\left(\frac{2}{3}\right)} \cdot t = -\frac{\ln(2)}{\ln\left(\frac{2}{3}\right)} \cdot 15,8 \text{ d} \approx 27 \text{ d}$$

d) Nach 14 Jahren ist die Hälfte der Atome noch vorhanden. Damit beträgt die Halbwertszeit 14 a.