

Kernspaltung im historischen Kontext – Übungsaufgaben

Matthias Borchardt



© Artur Plawgo/istock/Getty Images

Dieses Unterrichtsmaterial bietet Ihnen die Möglichkeit, Inhalte der Kernphysik mit Ihren Schülerinnen und Schülern kontextorientiert zu wiederholen und zu erarbeiten. Eine Anknüpfung an die Entdeckungsgeschichte der Kernspaltung macht das Thema für die Lernenden besonders greifbar und interessant, da sie die Überlegungen und Rechnungen der Wissenschaftler in vielfältiger Weise kennenlernen und durch eigene Berechnungen nachvollziehen können. Die Einheit bezieht sich an einigen Stellen auf einen Film, der die historische Entwicklung dieser Thematik behandelt. Außerdem stehen Übungsaufgaben bereit, anhand derer die Jugendlichen das erworbene Wissen anwenden können.

Kernspaltung im historischen Kontext – Übungsaufgaben

Oberstufe

Matthias Borchardt

| | |
|--|-----------|
| Hinweise | 1 |
| M1 Entdeckung der Kernspaltung | 3 |
| M2 Neutronenquelle | 5 |
| M3 Neutronenbremse | 7 |
| M4 Abschätzung der Spaltenergie | 9 |
| M5 Berechnung der Spaltenergie | 12 |
| M6 Messung der Spaltenergie | 13 |
| M7 Überwindung der Spaltbarriere | 16 |
| M8 Energie aus der Kettenreaktion | 18 |
| Lösungen | 20 |

Die Schülerinnen und Schüler lernen:

wissenschaftshistorische Aspekte der Kernspaltung kennen. Dabei behandeln sie die Berechnung der Spaltenergien über Massendefekte, die elektrostatische Abstoßung und die Geschwindigkeitsmessung der Spaltfragmente sowie die Erzeugung und Bremsung von Neutronen. Außerdem lernen sie, was die Spaltbarrieren verschiedener Uranisotope und eine Kettenreaktion bedeuten.

Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt **Video** YouTube-Video

| Thema | Material | Methode |
|--|------------|-----------|
| Entdeckung der Kernspaltung | M1 | AB, Video |
| Neutronenerzeugung und Neutronenbremsung | M2, M3 | AB, Video |
| Abschätzung, Berechnung und Messung der Spaltenergie | M4, M5, M6 | AB, Video |
| Spaltbarrieren | M7 | AB, M |
| Kettenreaktion und Energie | M8 | AB |

Kompetenzprofil:

- Inhalt:** Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn, Fritz Straßmann und Lise Meitner; Berechnung und Messung der bei der Spaltung freiwerdenden Energie; Bedeutung von verschiedenen Spaltbarrieren (Schwellenenergien); Energiefreisetzung in einer Uranprobe
- Medien:** GTR, YouTube-Video, Ausschnitte wissenschaftlicher Originalveröffentlichungen
- Kompetenzen:** Erkennen von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (S1), Anwenden bekannter mathematischer Verfahren auf physikalische Sachverhalte (S7), ziel-, sach- und adressatengerechtes Auswählen geeigneter Schwerpunkte für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen (K5)

Erklärung zu den Symbolen



einfaches Niveau



mittleres Niveau



schwieriges Niveau

Neutronenquelle

M2

1939 gelang Otto Hahn und Fritz Straßmann der Nachweis, dass Atomkerne des Elements Uran mithilfe langsamer Neutronen gespalten werden können. Als Neutronenquelle verwendeten die Forscher damals ein Gemisch aus den Isotopen Radium-226 und Beryllium-9.

Radium-226 ist ein Alphastrahler mit einer Halbwertszeit von 1600 Jahren. Die Alphateilchen können sich, wenn sie auf die Berylliumkerne treffen, dort mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit anlagern, wodurch ein instabiler Compoundkern entsteht, der durch Abgabe eines Neutrons (manchmal auch zusammen mit einem Gammaquant) in einen stabilen Atomkern übergeht: ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{13}_6\text{C}^* \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + n + (\gamma)$

Aufgabe 1

Wir betrachten zunächst die Quelle der Alphateilchen, nämlich den Zerfall des Isotops Ra-226.

- Geben Sie die Zerfallsgleichung des Radiumisotops bei seinem Alphazerfall an.
- Berechnen Sie die Energie der Alphateilchen und geben Sie das Ergebnis in MeV an. Verwenden Sie die Atommassen:

- $m_{\text{Ra}} = 226,025409 \text{ u}$
- $m_{\text{He}} = 4,002603 \text{ u}$
- $m_{\text{Rn}} = 222,017577 \text{ u}$

- Hahn und Straßmann verwendeten etwa 70 mg Radium in ihrer Neutronenquelle. Berechnen Sie die Aktivität des Präparats.

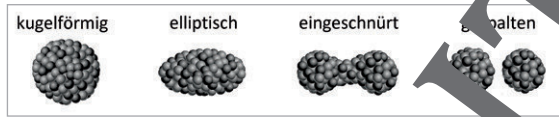
Aufgabe 2

Würde man die Aktivität des Radiumpräparats jedoch messen, würde man einen wesentlich höheren Wert als der berechnete erhalten. Dies wird verständlich, wenn Sie einen Blick auf ein typisches Alphaspektrum von Radium-226 werfen (siehe Abbildung). Außer der Spektrallinie des Radiums selbst nämlich die Linien weiterer Alphastrahler zu erkennen. Es handelt sich dabei um Tochternuklide des Radium-226.

Ermitteln Sie mithilfe einer Isotopentafel die Halbwertszeiten der aufgeführten Isotope und begründen Sie, warum die Quelle sich in einem *radioaktiven Gleichgewicht* befindet und somit das Spektrum und die Gesamtaktivität der Strahlung über lange Zeiträume unverändert bleibt.

Aufgabe 2

Wir wollen diese Abschätzung nachvollziehen und nehmen dazu an, dass direkt nach dem Spaltungsprozess (im Tröpfchenmodell also kurz nach der Einschnürung des Tropfens) die beiden Kerne nebeneinanderliegen und dann durch die Coulombkraft



Skizze: Wikimedia Commons [gemeinfrei gestellt], verändert durch Matthias Borchardt

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

auseinandergetrieben werden. Die Arbeit, die dadurch an den beiden Kernen verrichtet wird, finden wir in Form von kinetischer Energie (im Unendlichen) wieder.

Begründen Sie Folgendes:

Die Formel für die Arbeit, die aufgrund der Coulombkraft an den beiden Kernen verrichtet wird, lässt sich aus dem Ansatz

$$W_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \int_{r_a}^{\infty} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} dr$$

herleiten, wobei gilt:

$$r_a = r_{Ba} + r_{Kr}$$

Aufgabe 3

Lösen Sie das Integral. (Ergebnis: $W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{(r_{Ba} + r_{Kr})}$)



Tipp: Verwenden Sie: $\int_a^b \frac{1}{x^2} dx = \left[-\frac{1}{x} \right]_a^b = \frac{1}{b} - \frac{1}{a}$.

Aufgabe 4

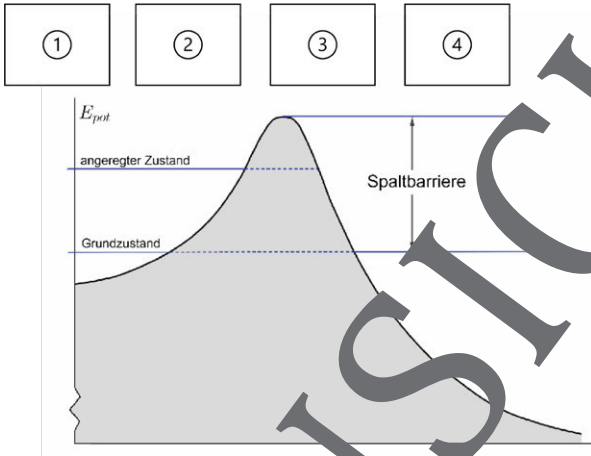
Die kinetische Energie der beiden Bruchstücke lässt sich also mithilfe der Formel

$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{(r_{Ba} + r_{Kr})}$ berechnen. Für die Radien von Atomkernen gilt näherungsweise

die folgende Beziehung: $r_k = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot A^{\frac{1}{3}}$, wobei A die Nukleonenzahl darstellt. Berechnen Sie die Energie (in MeV), die bei dem Auseinanderlaufen der beiden Kerne frei wird.

Aufgabe 1

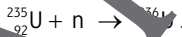
Skizzieren Sie die mögliche Deformation eines Kerns anhand des dargestellten Potentialverlaufs und beschriften Sie die einzelnen Abschnitte 1–4.



Skizze: Matthias Borchardt

Aufgabe 2

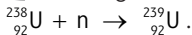
Ein langsames Neutron trifft auf einen U-235 Kern und lagert sich an:



Berechnen Sie die freiwerdende Bindungsenergie, indem Sie die Massen vor der „Ver- einigung“ und danach vergleichen:

- $m_{\text{U-235}} = 235,043930 \text{ u}$
- $m_{\text{Neutron}} = 1,008665 \text{ u}$
- $m_{\text{U-236}} = 236,045568 \text{ u}$

Ein Neutron trifft auf einen U-238 Kern und lagert sich an:



Berechnen Sie auch für diesen Fall die freiwerdende Bindungsenergie:

- $m_{\text{U-238}} = 238,050788 \text{ u}$
- $m_{\text{Neutron}} = 1,008665 \text{ u}$
- $m_{\text{U-239}} = 239,05429 \text{ u}$

Aufgabe 3

Die Spaltbarriere bei Uran-236 beträgt 5,3 MeV, bei Uran-239 etwa 6,1 MeV.

Bringen Sie diese Informationen mit den obigen Ausführungen in einen sachlogischen Zusammenhang.

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



Über 5.000 Unterrichtseinheiten
sofort zum Download verfügbar



Webinare und Videos
für Ihre fachliche und
persönliche Weiterbildung



Attraktive Vergünstigungen
für Referendar:innen mit
bis zu 15% Rabatt



Käuferschutz
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de