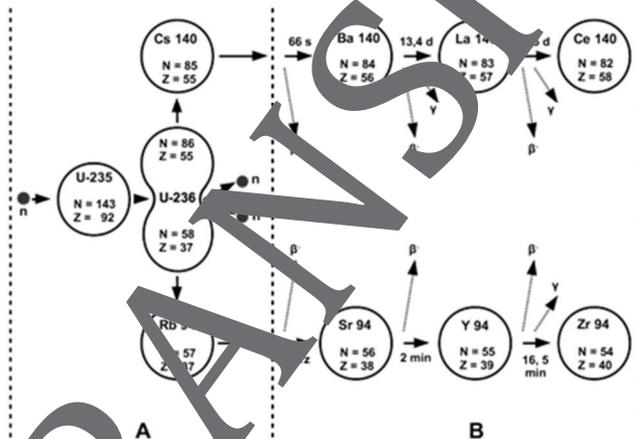


UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Die Kernspaltung

Theorie und technische Anwendung

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Ausgabe 4/2018

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und angefragt. Sollten dennoch an einzelnen Materialien weitere Rechte bestehen, bitten wir um Benachrichtigung.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH
Ein Unternehmen der Klett Gruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 711 62900-0
Fax +49 711 62900-60
schule@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Stephanie Schöning
Satz: Röser Medien GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Illustrationen: Wolfgang Vogg
Bildnachweise: Wolfgang Vogg

Die Kernspaltung – Theorie und technische Anwendungen

Enrico Fermi (1901–1954), einer der bedeutendsten Kernphysiker des 20. Jahrhunderts, hatte als erster erkannt, dass sich elektrisch neutrale Teilchen wie Neutronen bestens zur Beschießung von Atomkernen eignen müssten. Bereits im Jahr 1934 gelang es ihm, auf diese Weise zahlreiche radioaktive Nuklide zu gewinnen.

Der deutsche Chemiker und Pionier der Radiochemie **Otto Hahn** (1879–1968) wiederholte zahlreiche Versuche von Fermi, die im Jahr 1938 zu einer wissenschaftlichen Sensation führten: Zusammen mit seinen Mitarbeitern **Lise Meitner** und **Fritz Strassmann** hatte **Otto Hahn** bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen auf seinem Labortisch – heute zu bestaunen im Deutschen Museum in München – die erste herbeigeführte (induzierte) Kernspaltung ausgelöst. Innerhalb weniger Jahre wurde aus dieser Entdeckung eine neue Energiequelle von bisher nicht vorstellbarer Größenordnung erschlossen – die Kernenergie.

Im Folgenden sollen neben detaillierten theoretischen Ableitungen sowohl die technischen Anwendungen der Kernspaltungsreaktion in Form von Kernreaktoren zur Energiegewinnung als auch die militärischen Möglichkeiten der unkontrollierten Kettenreaktion betrachtet werden.

Hinweis: Bei allen Aufgaben des Beitrages sind die in der Tabelle angegebenen Atommassen in **u** zu verwenden!

Atommasse in u		Atommasse in u	
1_0n	1,008665	${}^{94}_{40}\text{Zr}$	93,906316
${}^1_1\text{H}$	1,007825	${}^{140}_{58}\text{Ce}$	139,905439
${}^2_1\text{H}$	2,014102	${}^{144}_{56}\text{Ba}$	143,922955
${}^4_2\text{He}$	4,002603	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,043930
${}^{94}_{38}\text{Sr}$	93,915362	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	239,052164

Es gilt die Atommasse in u: $1 \text{ u} = 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

1. Abb. 1 zeigt einen von vielen möglichen Kernspaltungsvorgängen, die bei der Spaltung von U-235 auftreten können.

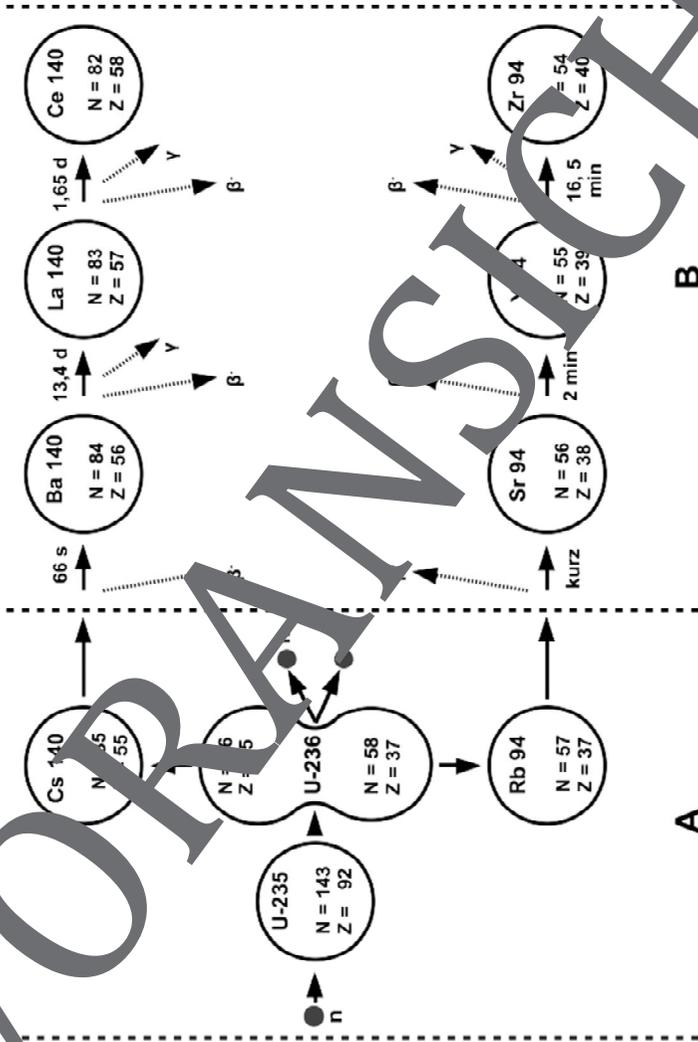
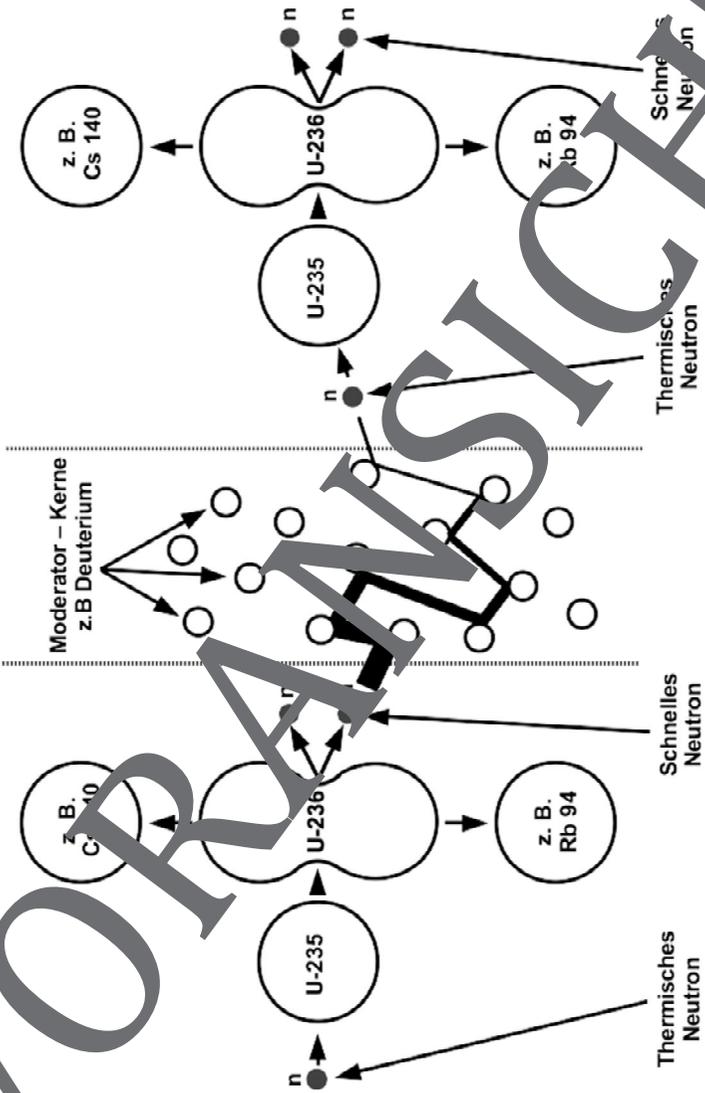


Abb. 1

In Kernreaktoren kommt bevorzugt U-235 zur Anwendung, da sich diese Kerne sehr gut durch thermische (langsame) Neutronen spalten lassen. Bei den dabei entstehenden Trümmerkernen muss die Summe der Kernladungszahlen gleich der Kernladungszahl von U-235 sein, während die Massenzahl der Trümmerkerne und der frei gewordenen Neutronen stets 235 betragen muss.

- a) Erläutern Sie die Wichtigkeit von thermischen Neutronen für die Spaltung von U-235.
 - b) Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 1 den eigentlichen Spaltvorgang von U-235 (Abschnitt A) sowie die weiteren Veränderungen der Spaltprodukte bis hin zu den stabilen Kernen C^{140} und Zr^{94} .
 - c) Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für den Zerfall von U-235 auf und ermitteln Sie durch Rechnung die Energiebilanz des gesamten in Abb. 1 gezeigten Kernspaltungsablaufes in der Einheit MeV.
 - d) Berechnen Sie die Energie, die bei der Spaltung von 1 kg reinem U-235 frei wird.
 - e) Wie viele kg Heizöl (Heizwert $\approx 42 \text{ MJ/kg}$) müsste man verbrennen, wenn man die gleiche Energie freisetzen möchte wie in Teilaufgabe 1 d) berechnet?
2. Die Energieerzeugung in einem Kernreaktor läuft in einem Prozess ab, den man kontrollierte Kettenreaktion nennt. Bei diesem Prozess muss sichergestellt sein, dass etwa bei der Spaltung von U-235-Kernen von den 2 oder 3 in Folge der Spaltung freigesetzten schnellen Neutronen immer nur eines auf einen weiteren U-235-Kern treffen kann. Dabei muss ein schnelles Neutron auf ein für die nächste Spaltung notwendige thermische Energie von $E \approx 0,03 \text{ eV}$ abgebremst werden, während die beiden anderen Neutronen von geeigneten Stoffen absorbiert werden müssen.
- a) Materialien, mit denen die Neutronengeschwindigkeit durch möglichst wenige elastische Zusammenstöße abgebremst werden können, heißen Moderatoren. **Abb. 2** zeigt den Vorgang mit schwerem Wasser (Deuterium) als Moderator.



VORANSICHT

Erläutern Sie anhand von Abb. 2,

- wie man sich das Abbremsen von schnellen Neutronen auf thermische Neutronen nach dem Spaltvorgang vorstellen kann und
- warum dazu schweres Wasser (Deuterium) am besten geeignet ist.

b) Welche Maßnahmen müssen im Reaktor zusätzlich getroffen werden, um die 1 oder 2 anderen Neutronen durch Absorption aus dem Prozess der Kettenreaktion herauszunehmen?

3. Die Abbremsung der schnellen Neutronen erfolgt durch Zusammenstoß mit Kernen anderer Atome wie z. B. Deuterium (D) oder Graphit (C). Bei jedem Stoß wird ein Teil der kinetischen Energie des Neutrons (n) auf den gestoßenen Kern übertragen. Die übertragene Energiemenge beträgt bei einem Stoß:

Hinweis: Auf die Herleitung der Gleichung wird von Ihnen nicht verlangt!

$$\Delta E = E_{\text{kin}(0),n} \cdot \frac{4 \cdot m_n \cdot M}{(m_n + M)^2}$$

Darin bedeuten:

$E_{\text{kin}(0),n}$: Kinetische Energie des Neutrons bei seiner Entstehung

m_n : Masse des Neutrons

M : Masse des gestoßenen Atomes

Hinweis: Die kinetische Energie der Moderator-Kerne kann bei den folgenden Rechnungen vernachlässigt werden, da sie gegenüber der kinetischen Energie der Neutronen bei einer guten Abschätzung keine Rolle spielen!

a) Berechnen Sie, wieviel Prozent der Neutronenenergie bei einem als zentral angenommenen Stoß mit einem Kohlenstoffkern (Graphitmoderator) bzw. Deuteriumkern (Schwerwassermoderator) übertragen wird!

Hinweis: Für Kohlenstoffkerne gilt $M_C \approx 12 m_n$; bei Deuteriumkernen $M_D \approx 2 m_n$

b) Wieviel Prozent beträgt in beiden Fällen der Energieverlust des Neutrons nach 4 Stößen?

c) Ein schnelles Neutron der Energie $E_{\text{kin}(0),n} = 1 \text{ MeV}$ soll auf die thermische Energie $E_{\text{kin}(th),n} = 0,03 \text{ eV}$ abgebremst werden. Wie viele als zentral angenommene Stöße sind bei Verwendung der beiden genannten Moderatoren erforderlich?

4. Ein Kernreaktor benötigt pro Jahr etwa 200 t Natur-Uran, das aber auf einen Anteil von 3,5 % mit U-235 angereichert wird. Pro Spaltung eines U-235-Kernes soll eine Energie von durchschnittlich 200 MeV frei werden.

Berechnen Sie die Leistung des Kernreaktors unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Brennstäbe nur bis zu einem U-235-Gehalt von 1,5 % im Reaktor bleiben können!

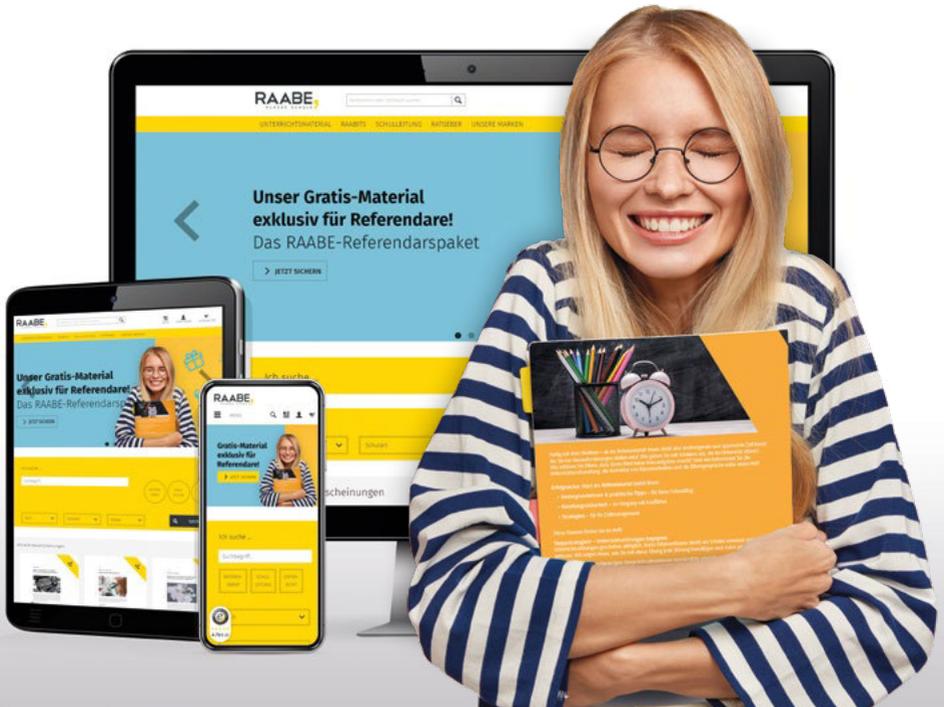
5. Neben der friedlichen Nutzung zur Energiegewinnung haben die Erkenntnisse zur Kernspaltung nur wenige Jahre nach ihrer Entdeckung dazu geführt, eine Waffe zu entwickeln einer bis dahin nicht bekannten Zerstörungskraft – die Kernspaltungs-Atombombe!

Der Grundgedanke dazu war, dass man unkontrollierte Massen von Uran oder Plutonium auf technisch raffinierte Weise so zusammenbringt, dass eine sogenannte kritische Masse überschritten wird. Es geht in einer unkontrollierten Kettenreaktion in Sekundenbruchteilen eine Explosion abläuft mit einer gigantischen Energiefreisetzung einschließlich der damit einhergehenden Zerstörungskraft.

Beschreiben und erläutern Sie, welche Bedeutung den Begriffen

- unkontrollierte Kettenreaktion,
- Neutronenvermehrungsfaktor k und
- kritische Masse zukommt.

Sie wollen mehr für Ihr Fach? Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



- ✓ **Über 4.000 Unterrichtseinheiten** sofort zum Download verfügbar
- ✓ **Sichere Zahlung** per Rechnung, PayPal & Kreditkarte
- ✓ **Exklusive Vorteile für Grundwerks-Abonent*innen**
 - 20% Rabatt auf Unterrichtsmaterial für Ihr bereits abonniertes Fach
 - 10% Rabatt auf weitere Grundwerke

Jetzt entdecken:
www.raabe.de