

Physik - Radioaktivität und Kernenergie

Wiederholung:

Wie ist ein Atom aufgebaut?

Nenne die drei Arten radioaktiver Strahlung.

Was ist die Halbwertszeit.

Lasse folgendes Isotop einen α - und dann einen β -Zerfall durchlaufen: $^{237}_{93}\text{Np}$

Bearbeite die folgenden Arbeitsblätter.

1 Durchschnittliche spezifische Aktivität

Die Aktivität

Aktivität
Verschiedene radioaktive Strahlungsquellen geben unterschiedlich viel Strahlung ab. Um die Strahlung vergleichen zu können, hat man die Größe **Aktivität** festgelegt. Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne in einer bestimmten Zeit zerfallen. Sie wird berechnet als der Quotient aus der Anzahl der Kernumwandlungen und der gemessenen Zeit.

Zu Ehren des französischen Physikers HENRI BECQUEREL (1852 – 1908) ist die Einheit der Aktivität Becquerel (Bq). 1 Becquerel bedeutet einen Kernzerfall in einer Sekunde. Als Formelzeichen für die Aktivität wird A verwendet.

Spezifische Aktivität
Damit du beurteilen kannst, wie gefährlich ein radioaktiver Stoff ist, musst du neben seiner Aktivität auch seine Masse berücksichtigen. Es ist ein Unterschied, ob ein Tanklastwagen oder eine Tasse eine Aktivität von 500 Bq aufweist.

Die **spezifische Aktivität** ist der Quotient aus der Aktivität eines radioaktiven Stoffes und seiner Masse. Sie erhält das Formelzeichen a und die Einheit 1 Becquerel pro Kilogramm (1 Bq/kg).

Strahlende Lebensmittel
Pflanzen nehmen über Wurzeln und Blätter Wasser, Luft und Nährstoffe auf. So gelangen auch radioaktive Substanzen in die Pflanzen.

Über die Nahrung werden diese Stoffe dann von Menschen und Tieren aufgenommen (\gg B 2). Auch der Mensch strahlt. Von besonderer Bedeutung ist die

„Weide beim F auf.“
Dieses den m relativ ders g beson Körpe drüse könne Deuts zifisch Je na Geste über belas
Die A eine wert
Akti
For Einl

240

„Weide-Kuh-Mensch-Kette“. Die Kuh nimmt beim Fressen von Gras radioaktives Jod-131 auf.

Dieses Jod-131 gelangt über die Milch in den menschlichen Körper. Da Kleinkinder relativ viel Milch trinken, sind sie besonders gefährdet. Sie haben daher einen besonders hohen Jod-131-Gehalt in ihrem Körper. Das Jod lagert sich in der Schilddrüse ab. Störungen in der Hormonbildung können die Folge sein.

Deutsches Mineralwasser darf eine spezifische Aktivität bis 0,6 Bq/kg aufweisen. Je nachdem, wie hoch der Urananteil des Gesteins ist, kann das Mineralwasser über die Zerfallsreihe des Uran mit Ra-226 belastet sein.

Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne in einer bestimmten Zeit umgewandelt werden.

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Kernumwandlungen}}{\text{Zeit}}$$

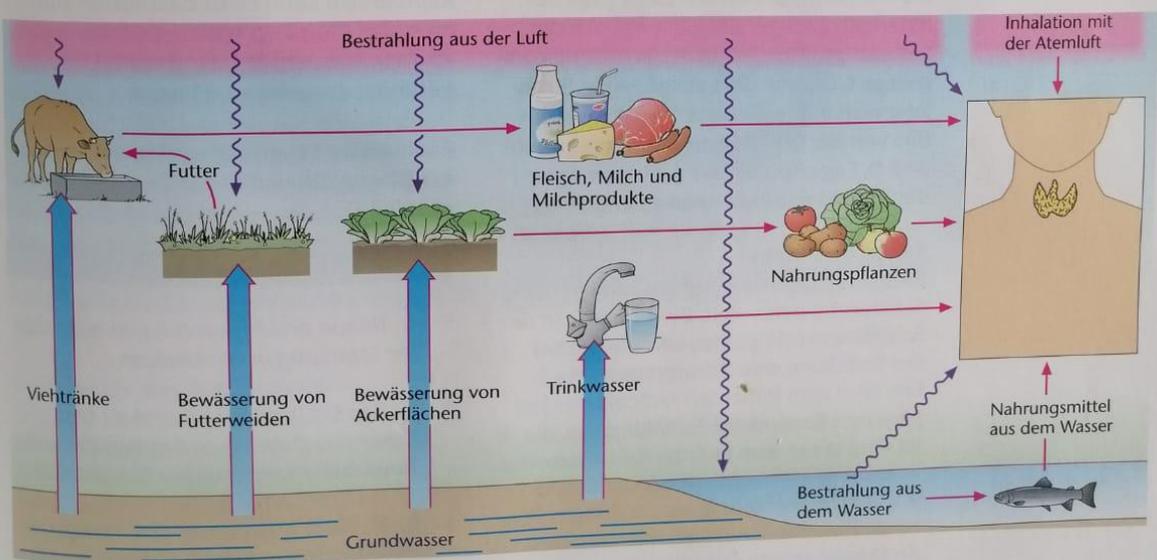
Formelzeichen: A
 Einheit: Becquerel (1 Bq)

$$\text{Spezifische Aktivität} = \frac{\text{Aktivität}}{\text{Masse}}$$

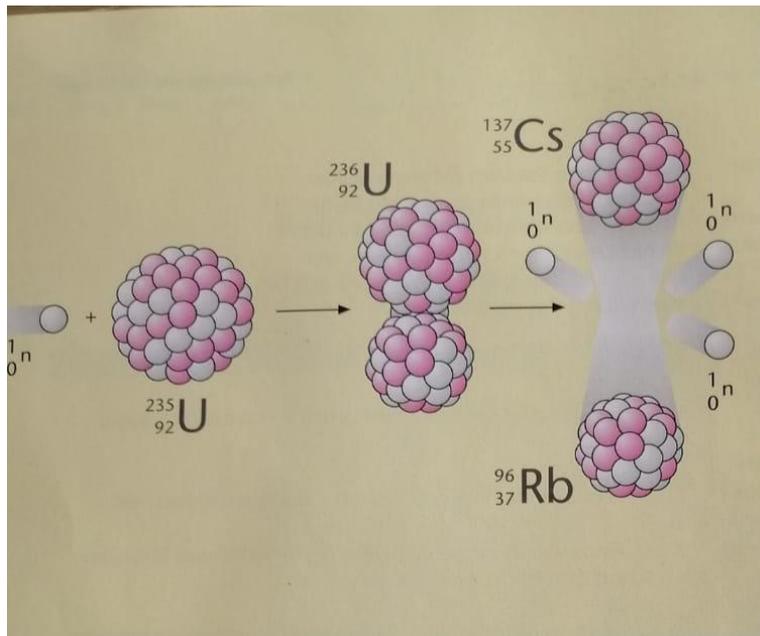
Formelzeichen: a
 Einheit: Bq/kg

AUFGABEN

- 1 ○ Gib in einer Tabelle Formelzeichen und Einheit der Aktivität und der spezifischen Aktivität an.
- 2 ○ Beschreibe den Unterschied zwischen der Aktivität und der spezifischen Aktivität.
- 3 ● Eine radioaktive Substanz hat eine Aktivität von 3 000 Bq. Berechne die Kernumwandlungen, die in zwei Minuten stattfinden.
- 4 ● Ein Cäsium-137-Präparat hat die Aktivität $A = 4\,000\,000$ Bq. Berechne die spezifische Aktivität, wenn 10 g dieses Präparat in einer Tonne Wasser gelöst wird.



2 So gelangen radioaktive Substanzen in den menschlichen Körper.



1 Spaltung von U-235 in Caesium und Rubidium

$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{147}_{60}\text{Nd} + ^{86}_{32}\text{Ge} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{89}_{36}\text{Kr} + ^{144}_{56}\text{Ba} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{85}_{34}\text{Se} + ^{148}_{58}\text{Ce} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{103}_{42}\text{Mo} + ^{131}_{50}\text{Sn} + 2^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{137}_{53}\text{I} + ^{96}_{39}\text{Y} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{137}_{55}\text{Cs} + ^{96}_{37}\text{Rb} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{90}_{36}\text{Kr} + ^{144}_{56}\text{Ba} + 2^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{135}_{52}\text{Te} + ^{98}_{40}\text{Zr} + 3^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{133}_{51}\text{Sb} + ^{101}_{41}\text{Nb} + 2^1_0n$
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0n$	\longrightarrow	$^{129}_{51}\text{Sb} + ^{104}_{41}\text{Nb} + 3^1_0n$

2 Spaltmöglichkeiten von U-235

Die Kernspaltung

Nachdem 1932 der Engländer JAMES CHADWICK (1891–1974) das Neutron entdeckte, erkannte der italienische Physiker ENRICO FERMI (1901–1954) bald den Nutzen der Neutronen zum Beschuss von Atomkernen. Da Neutronen elektrisch neutral sind, dringen sie leicht in Atomkerne ein. α -Teilchen dagegen werden wegen ihrer zweifach positiven Ladung vom ebenfalls positiv geladenen Atomkern abgestoßen. Sie sind deshalb als Beschussmaterial weniger geeignet.

Wissenschaftler begannen, Elemente, z. B. Uran, mit Neutronen zu beschießen. Bei einem solchen Beschuss kann es zu Kernumwandlungen kommen (\triangleright B 4). Ein vom Urankern eingefangenes Neutron kann sich im Kern z. B. in ein Proton und ein Elektron umwandeln. Das Elektron verlässt den Kern. Es entsteht ein neues Element mit 93 Protonen, das schwerer ist als Uran. Es hat den Namen Neptunium.

Alle Elemente, deren Protonenzahl größer ist als 92, werden als Transurane bezeichnet (\triangleright B 3).

Die Kernspaltung

Die deutschen Wissenschaftler OTTO HAHN (1879–1968), LISE MEITNER (1878–1968) und FRITZ STRASSMANN (1902–1980) beschossen Urankerne mit Neutronen. Sie vermuteten, dass dadurch schwerere Atome entstehen müssten.

Zu ihrem großen Erstaunen fanden sie jedoch Elemente, deren Kerne leichter waren. Sie konnten Barium nachweisen. Barium hat nur 56 Protonen, ist also wesentlich leichter als Uran.

Kurze Zeit später fanden HAHN und STRASSMANN auch das zweite Bruchstück: Krypton, ein Gas. Der Urankern (92 Protonen) war in einen Bariumkern (56 Protonen) und einen Kryptonkern (36 Protonen) gespalten worden.

Durch genauere Untersuchungen fanden die Wissenschaftler heraus, dass sie nur die Kerne des Uranisotops U-235 spalten konnten.

Spaltprodukte

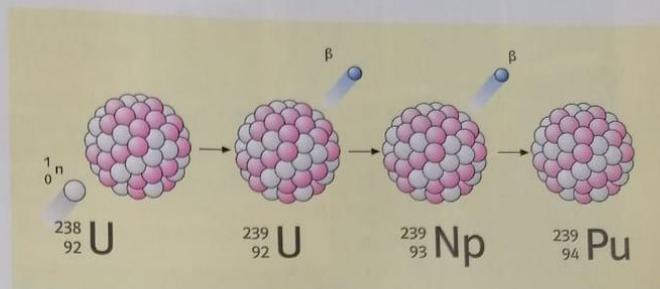
Wird U-235 mit Neutronen beschossen, können verschiedene Spaltprodukte und zwei oder drei Neutronen entstehen (▷ B 1; B 2). Gleichzeitig wird eine große Menge an Energie frei, und zwar in Form von Bewegungsenergie der Spaltprodukte und der Neutronen sowie in Form der γ -Strahlung.

Auf die Geschwindigkeit kommt es an
Uranisotope lassen sich mit Neutronen besonders leicht spalten. Allerdings eignen sich dazu nicht alle Neutronen gleich gut. Es kommt auf ihre Geschwindigkeit an.

Uran	U	92
Neptunium	Np	93*
Plutonium	Pu	94
Americium	Am	95*
Curium	Cm	96*
Berkelium	Bk	97*
Californium	Cf	98*
Einsteinium	Es	99*
Fermium	Fm	100*
Mendelevium	Md	101*
Nobelium	No	102*
Lawrencium	Lr	103*
Rutherfordium	Rf	104*
Dubnium	Db	105*
Seaborgium	Sg	106*
Bohrium	Bh	107*
Hassium	Hs	108*
Meitnerium	Mt	109*

* Elemente, die ausschließlich künstlich erzeugt worden sind

3 Uran und einige Transurane



4 Kernumwandlungen

Zur Spaltung von U-235 sind langsame Neutronen besonders gut geeignet. U-238 lässt sich hingegen nur mit schnellen Neutronen spalten.

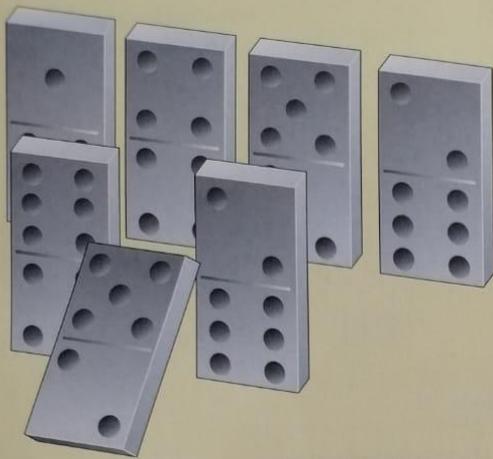
Energiebilanz

Bei der Spaltung von Urankernen wird mehr Energie frei als zum Beschuss mit Neutronen aufgewendet werden muss. Die frei werdenden Neutronen können weitere Urankerne spalten. Auf diese Weise werden große Energiemengen frei.

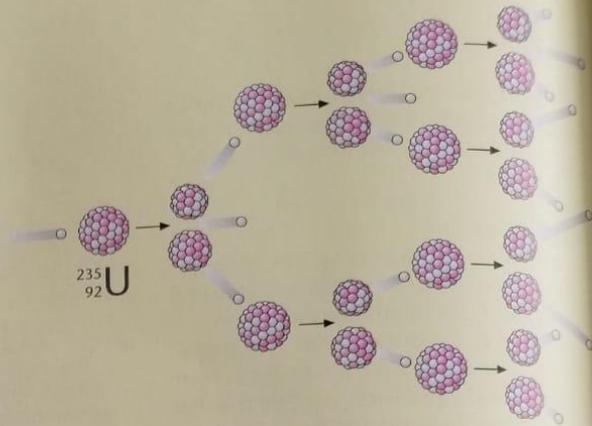
Bei der Kernspaltung wird der Atomkern mit Neutronen beschossen. Es entstehen zwei neue Kerne. Neutronen und Energie werden frei.

AUFGABEN

- Beschreibe den Ablauf der Kernspaltung von U-235.
- Erkläre, was die Schreibweise 1_0n bedeutet.
- Beschreibe drei Möglichkeiten der Spaltung von U-235 (▷ B 2).
- Wenn U-235 in Krypton (Kr) und Barium (Ba) gespalten wird, können zwei oder drei Neutronen frei werden. Erkläre dies mit Bild 2.
- a) Recherchiere die Geschwindigkeiten langsamer und schneller Neutronen und gib diese in der Einheit km/h an.
b) Vergleiche die Geschwindigkeiten mit der Geschwindigkeit von Flugzeugen. Recherchiere, wenn nötig.



1 Dominosteinmodell



2 Unkontrollierte Kettenreaktion

Die Kettenreaktion

Wenn im Bild 1 der erste Dominostein kippt, fallen gleich zwei weitere um, dann vier, acht usw. Eine **Kettenreaktion** ist in Gang gekommen. Dieses Domino-Modell übertragen wir nun auf die Kernspaltung.

Unkontrollierte Kettenreaktion

Ein langsames Neutron spaltet einen U-235-Kern in zwei neue Kerne. Zwei oder drei Neutronen werden dabei frei. Diese können wieder zwei oder drei andere U-235-Kerne spalten (\triangleright B 2). Es werden

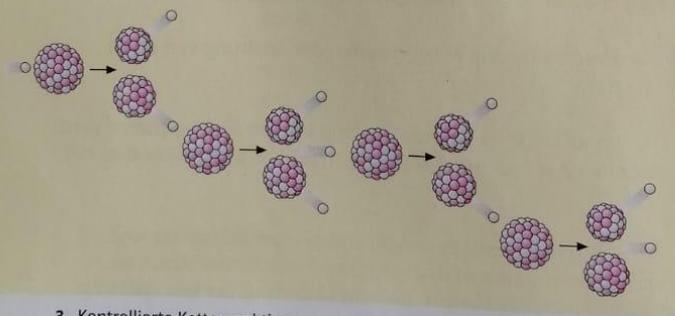
jetzt mehr Neutronen frei. Die Zahl der Spaltungen wächst sehr schnell an. Es ist eine Kettenreaktion in Gang gekommen. Riesige Energiemengen werden frei. **Unkontrollierte Kettenreaktionen** laufen in Nuklearwaffen ab.

Kritische Masse

Neutronen, die bei der Uranspaltung frei werden, können das Material auch durch die Oberfläche verlassen. Sie verursachen somit keine weiteren Spaltungen. Wenn zu viele Neutronen aus dem Uran austreten, gibt es keine Kettenreaktion. Das hängt von der Masse und der Form des Uranblocks ab. Die Mindestmasse, ab der eine Kettenreaktion zustande kommt, heißt **kritische Masse**. Sie beträgt bei U-235 ca. 50 kg. Das entspricht einer Kugel mit einem Durchmesser von etwa 17 cm.

Kontrollierte Kettenreaktion

Für eine Kernspaltung wird nur ein Neutron benötigt. Wenn man die Kettenreaktion kontrollieren will, müssen so viele freier werdende Neutronen eingefangen werden,



3 Kontrollierte Kettenreaktion

dass keine unkontrollierte Kettenreaktion entstehen kann (▷ B 3).

Freigesetzte Energie

Bei der Spaltung von 1 kg Uran-235 wird eine Energie von etwa 23 000 000 kWh freigesetzt. Das entspricht etwa der Energie, die bei der Verbrennung von 2 600 t Steinkohle, 6 400 t Holz oder 2 200 000 l Heizöl frei wird (▷ B 4).

Mit dieser Energiemenge könnte man 1000 Einfamilienhäuser ein Jahr lang beheizen.

Keine Kettenreaktion im Natururan

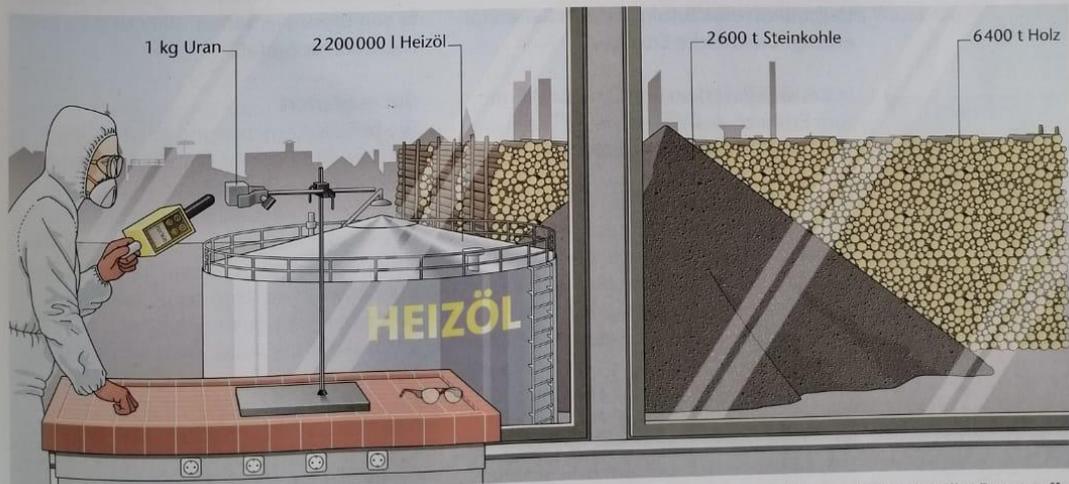
Zunächst muss ein Neutron für die erste Spaltung vorhanden sein. Es kann der Höhenstrahlung oder dem Spontanzfall eines Urankerns, der sehr selten ist, entstammen. Es muss jedoch die richtige Geschwindigkeit haben, um U-235 spalten zu können. Allerdings ist die Geschwindigkeit meistens zu hoch. U-238-Kerne können freie Neutronen absorbieren, bevor diese einen U-235-Kern spalten können. Im Natururan kommen auf ein U-235-Atom etwa 142 U-238-Kerne. Darum ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass ein Neutron auf einen U-235-Kern trifft.

Aus diesen Gründen kommt es im Natururan zu keiner Kettenreaktion.

Neutronen, die bei der Spaltung von Urankernen frei werden, spalten weitere Urankerne. Es entsteht eine unkontrollierte Kettenreaktion. Man kann eine Kettenreaktion kontrollieren, indem man einen Teil der Neutronen einfängt.

AUFGABEN

- Gib mit eigenen Worten wieder, was man unter einer „Kettenreaktion“ versteht.
- Erkläre, was man unter der kritischen Masse von U-235 versteht.
- Gib an, wie viel Öl (Dichte rund $0,97 \text{ g/cm}^3$), Steinkohle oder Holz im Vergleich zu Uran bei der Energiegewinnung benötigt werden (▷ B 4).
- Beschreibe Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen unkontrollierter und kontrollierter Kettenreaktion.
- Beschreibe die Kettenreaktion bei U-235.



4 Um auf die Energie zu kommen, die bei der Spaltung von 1 kg U-235 frei wird, benötigt man große Mengen konventioneller Brennstoffe.

Die beiden Links führen zu Videos, die dir bei den Aufgaben helfen können.

https://www.youtube.com/watch?v=24UmCX_DGXE

<https://www.youtube.com/watch?v=nM-XaBVneE>