

A1 ○

Atomkerne	Protonenzahl Z	Neutronenzahl N
${}^2_1\text{H}$	1	1
${}^4_2\text{He}$	2	2
${}^{16}_8\text{O}$	8	8
${}^{17}_8\text{O}$	8	9
${}^{60}_{27}\text{Co}$	27	33
${}^{60}_{28}\text{Ni}$	28	32
${}^{207}_{82}\text{Pb}$	82	125
${}^{208}_{82}\text{Pb}$	82	126
${}^{235}_{92}\text{U}$	92	143
${}^{238}_{92}\text{U}$	92	146

Es gilt: $A = Z + N$

Isotope sind Atomkerne, die gleiche Protonen-, aber verschiedene Neutronenzahlen aufweisen. Isotope sind:

${}^{16}_8\text{O}$ und ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ und ${}^{208}_{82}\text{Pb}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$ und ${}^{238}_{92}\text{U}$

A2 ● a)

- Auswertung einer Nebelkammeraufnahme
- Ablenkung im Magnetfeld
- Messung der Reichweite

b) Ein Plattenkondensator entlädt sich schneller, wenn ein energiereiches radioaktives Material (α -Strahler) die Luft zwischen den Platten ionisiert.

A3 ○ Die Zählrate in einem Zählrohr zeigt eine Abnahme, wenn der Abstand zwischen radioaktiver Quelle und Zählrohr vergrößert wird. Danach hat α -Strahlung in Luft eine Reichweite von wenigen Zentimetern, β -Strahlung von einigen Metern.

A4 ●

- Die Nebelkammer ist ein abgeschlossenes Gefäß, dessen Atmosphäre mit Wasser- bzw. Alkoholdampf gesättigt ist. Durch eine rasche Ausdehnung (Entspannung des Gummiballs) wird die Luft so weit abgekühlt, dass der Raum mit Dampf übersättigt wird. Eindringende radioaktive Strahlung (α -Strahlung) ionisiert das Gas längs ihrer Spur. An den ionisierten Gasatomen (Kondensationskeimen) setzen sich feine Wassertröpfchen ab, die eine Spur bilden. Die Länge der Spur ist ein Maß für die Energie der Strahlung.
- Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem mit dem Edelgas Argon gefüllten Metallzylinder als negativer Elektrode und einem darin isoliert verlaufenden Metalldraht als positiver Elektrode. Zwischen den Elektroden legt man eine Spannung U_0 von einigen hundert Volt an. In diesem Stromkreis befindet sich ein hochohmiger Widerstand R mit rund $10^9 \Omega$. Am Ende des Metallrohres befindet sich ein sehr dünnes Fenster aus Glimmer. Die Teilchen einer radioaktiven Quelle gelangen durch das Glimmerfenster ins Zählrohr und ionisieren dort jeweils einige Argon-Atome. Die entstandenen positiven Argon-Ionen werden im elektrischen Feld zur Metallwand, die freien Elektronen zum Draht hin gezogen. Erreichen die Ionen bzw. Elektronen die Elektroden, so entsteht ein Strom, der Ionisationsstrom genannt wird, und mit einem elektronischen Zählgerät registriert wird.

A5 ● Kaliumverbindungen sind radioaktiv (sie enthalten das radioaktive Isotop K-40), weshalb sie eine deutlich höhere Zählrate aufweisen als beispielsweise Kochsalz oder Seesand, welche in der Größenordnung des Nulleffekts strahlen.

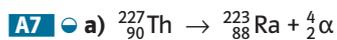
A6 a)

- Strahlung weitgehend abschirmen!
- Großen Abstand zur Strahlenquelle halten!
- Arbeitszeit mit radioaktiven Quellen so kurz wie möglich halten!
- Das Eindringen radioaktiver Strahlung in den Körper verhindern!

Begründung: Radioaktive Strahlung ist abschirmbar (z.B. Metallfolien). Die Aktivität nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Die Dauer der Strahlenwirkung hat starken Einfluss auf mögliche Strahlenschäden: Zellveränderung durch Ionisierung der Atome. Radioaktive Stoffe können z.B. im Körper lange eingelagert werden und als dort weiter bestehende radioaktive Quellen somatische und genetische Schäden auslösen.

b)

- kosmische Strahlung (Höhenstrahlung)
- terrestrische Strahlung (Gesteine, Böden, Baumaterialien)
- Eigenstrahlung des menschlichen Körpers durch die beim Stoffwechsel aufgenommenen Nuklide; z. B. C-14, K-40, Rn-222.
- ggf. Röntgendiagnostik (besonders Computer-Tomographie CT) und Röntgentherapie

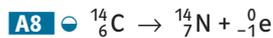
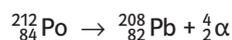
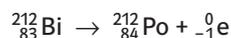
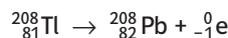
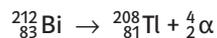
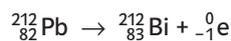
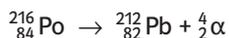
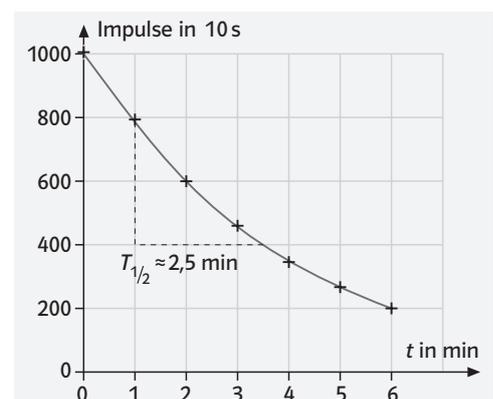


b) Eine Reihe von Folgeprodukten, die beim radioaktiven Zerfall von Uran, Thorium und Neptunium auftreten. Diese Folgeprodukte sind meist wieder radioaktiv und wandeln sich weiter um.

Dieser Prozess kommt erst dann zum Ende, wenn ein stabiler (nicht-radioaktiver) Kern entsteht.

Man kennt folgende Zerfallsreihen (siehe Anhang im Schülerbuch):

Zerfallsreihe	Ausgangskern	Halbwertszeit	Endkern
Uran-Radium-Reihe	${}_{92}^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
Uran-Aktinium-Reihe	${}_{92}^{235}\text{U}$	$7,0 \cdot 10^8 \text{ a}$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$
Thorium-Reihe	${}_{90}^{232}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10} \text{ a}$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
Neptunium-Reihe	${}_{93}^{237}\text{Np}$	$2,2 \cdot 10^6 \text{ a}$	${}_{83}^{209}\text{Bi}$

**A9****A10** Siehe Abbildung:

A11 ☉ C-14-Methode (auch Radiocarbon-Analyse): In der oberen Atmosphäre der Erde wandeln ständig energiereiche Protonen der Sonnenstrahlung Stickstoffatome in das radioaktive Kohlenstoffisotop C-14 um. Kohlenstoffdioxid bildet sich nicht nur mit C-12, sondern zu einem geringen Prozentsatz auch mit C-14. Infolge der Durchmischung der Luft gelangt Kohlenstoffdioxid beider Isotope in verhältnismäßig kurzer Zeit auch in Bodennähe, wo es von den Pflanzen bei der Fotosynthese aufgenommen wird. In diesen verändert sich der Anteil des radioaktiven Isotops und es stellt sich ein festes Verhältnis zwischen C-12 und C-14 ein. Sterben Pflanzen oder Lebewesen, die diese verstoffwechseln, oder wird beispielsweise ein Baum gefällt, wird von diesen auch kein C-14 mehr aufgenommen. Der Anteil des radioaktiven Isotops verändert sich von diesem Zeitpunkt an nach dem radioaktiven Zerfallsgesetz; die Halbwertszeit des Zerfalls von C-14 zu C-12 beträgt 5760 Jahre. Für die Altersbestimmung einer Probe wird die Zeit zwischen Entstehen des Isotops und Ende der Fotosynthese bzw. Lebensende der Lebewesen vernachlässigt. Außerdem wird angenommen, dass die Erzeugungsrate von C-14 bis heute konstant geblieben ist; man setzt das natürliche Konzentrationsverhältnis von C-14 zu C-12 mit dem heutigen gleich (tatsächlich unterlag der C-14-Gehalt der Atmosphäre Schwankungen, die stärksten wurden durch die Atombombenversuche der 1950er Jahre erzeugt).

Das relative Alter der untersuchten organischen Substanz wird anhand des analysierten Mengenverhältnisses von C-12 und C-14 in der Probe (z. B. Holzkohlestücke) gegenüber einer aktuellen Referenzprobe bestimmt.

Beispiel: C-14-Anteil der Probe gegenüber heute ein Achtel \Rightarrow drei Halbwertszeiten vergangen \Rightarrow relatives Alter ca. 17280 Jahre (entspricht je nach Untersuchungsdatum ungefähr 15280 v. Chr.).

Zusätzliche Informationen: Da zum einen der C-14-Gehalt der Proben verfälscht sein kann, zum anderen Probenentnahme, Aufbereitung und Messung Fehlern und Ungenauigkeiten unterliegen können (auch zu kleine Probenmengen sind möglich), werden die Ergebnisse meist in Intervallen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit des Ergebnisses angegeben; z. B. 2350 ± 30 Jahre vor heute. Bekannte Schwankungen im C-14-Gehalt der Atmosphäre und systematische Fehler versucht man zu berücksichtigen, die Daten werden kalibriert. Bei Holzproben kann dies u. a. in Kombination mit der Dendrochronologie (Jahrringanalyse) erfolgen. Der Vorteil der C-14-Methode ist, dass sie häufig genauer und „sicherer“ als andere archäologische Altersbestimmungen, die häufig nur auf Abfolgen beruhen, ist. Gerade ältere Ergebnisse sind jedoch wegen der möglichen Fehlerquellen kritisch zu betrachten und wurden teilweise auch schon korrigiert oder widerrufen. Die Altersbestimmung von Gesteinen mit der Blei-Methode basiert auf U-238, welches eine sehr hohe Halbwertszeit hat und sich letztlich in Pb-206 umwandelt. Man bestimmt die Konzentration beider Isotope in dem Gestein, deren Summe ist die Ausgangskonzentration des radioaktiven Isotops. Aus dem Verhältnis der heute vorhandenen Konzentration zur ursprünglichen Konzentration des radioaktiven Isotops lässt sich das (relative; s. o.) Alter berechnen.

A12 ● Die Motoren der Verkehrsmittel stoßen Kohlenstoffdioxid aus, dessen Kohlenstoffatome aus dem Erdöl stammen, also aus sehr altem biologischen Material. Wegen des hohen Alters ist entsprechend weniger C-14 vorhanden.

A13 ☉ a) Umwandlung von Atomkernen ohne äußere Beeinflussung in andere Atomkerne. Dabei tritt radioaktive Strahlung auf.

b)

Kernumwandlungsarten	gemeinsame Merkmale	unterschiedliche Merkmale
Kernspaltung	Veränderungen der Atomkerne	Zerlegung schwerer Atomkerne in leichtere mit gleichzeitiger Energiefreisetzung
Kernfusion		Verschmelzung leichterer Kerne zu schwereren mit gleichzeitiger Energiefreisetzung

A14 ● a) Durch Regelstäbe kann man in einem Kernreaktor die Kettenreaktion steuern. Diese Stäbe bestehen aus einem Material (Bor bzw. Cadmium), das die Eigenschaft besitzt, Neutronen einzufangen. Durch das mehr oder weniger tiefe Einfahren dieser Stäbe wird die Anzahl der Neutronen und damit die Kettenreaktion geregelt. Eine weitere Rolle spielen Moderatoren und Neutronenreflektoren.

b) Spaltbar ist nur das Uranisotop U-235, das in natürlich vorkommendem Uranerz nur in geringen Mengen vorhanden ist. Der größte Anteil besteht aus nicht spaltbarem U-238. Deshalb wird zur Herstellung der Brennelemente der Anteil von U-235 durch Anreichern auf etwa 3% erhöht.

A15 ● Mit diesen Maßnahmen soll erreicht werden, dass radioaktive Stoffe sich weder auf der Haut absetzen noch in den Körper gelangen können.