

(S.143) **Rückblick** Hinweise zu den Heimversuchen

Hinweise auf die Existenz von Atomen Variante des Ölfleckversuchs; vgl. Schülerbuch, S.121.

(S.143) **Rückblick** Lösungen der Trainingsaufgaben

A1 ○ Aus der Angabe der Massenzahl und der Kernladungszahl ist die Anzahl der Protonen und Neutronen im Atomkern sowie die Elektronenanzahl in der Atomhülle berechenbar.

A2 ○

Atomkerne	Protonenzahl	Neutronenzahl
${}^2_1\text{H}$	1	1
${}^4_2\text{He}$	2	2
${}^{16}_8\text{O}$	8	8
${}^{17}_8\text{O}$	8	9
${}^{60}_{27}\text{Ni}$	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 ${}^{238}_{92}\text{U}$

A3 ○

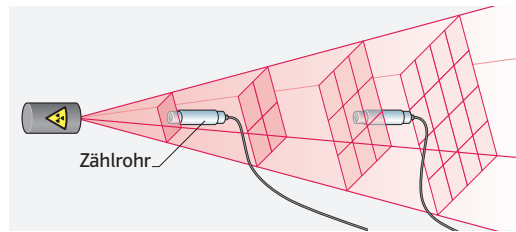
- Die **Nebelkammer** ist ein abgeschlossenes Gefäß, dessen Atmosphäre mit Wasser bzw. Alkoholdampf gesättigt ist. Durch eine rasche Ausdehnung (Entspannung des Gummiballs) wird die Luft so weit abgekühlt, dass der Raum mit Dampf übersättigt wird. Eindringende radioaktive Strahlung (α -Strahlung) ionisiert 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.

A4 ○ 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.

- (S.143) **A5** ☉ Die Zählrate in einem Zählrohr zeigt eine Abnahme, wenn der Abstand zwischen radioaktiver Quelle und Zählrohr vergrößert wird. Danach hat α -Strahlung eine Reichweite in Luft von wenigen Zentimetern, β^- -Strahlung von einigen Metern.



A6 ☉ **Variante A:** Bringen Sie die Uhr vor ein betriebsbereites Zählrohr. Entfernen Sie zuvor das Uhrglas. Erhöht sich die Zählrate, so sind die Leuchtziffern radioaktiv.

Variante B: Legen Sie das Zifferblatt zwölf Stunden auf einen in Papier eingepackten, noch unbelichteten Filmstreifen. Entwickeln Sie den Film. Bei radioaktiven Ziffern sind Schwärzungen zu sehen. Alternativ zum Film kann auch Fotopapier benutzt werden.

Variante C: Bringen Sie die Uhr in einen dunklen Raum. Leuchtet das Zifferblatt ständig, so ist es radioaktiv.

A7 ☉ **a)** Ein Geiger-Müller-Zählrohr zeigt überall eine schwache radioaktive Strahlung an, auch wenn sich keine radioaktive Strahlungsquelle in der Nähe befindet. Diese Erscheinung heißt „Nulleffekt“. Die Strahlung stammt aus dem Weltall, aus der Atmosphäre und von radioaktiven Stoffen in und auf der Erde.

b) Sowohl Gesteine als auch Baumaterial können unterschiedliche Konzentrationen von radioaktiven Elementen wie Thorium, Kalium oder Radium enthalten. Zudem ist die radioaktive Strahlung aus dem All schwankend.

- (S.144) **A8** ☉ Kaliumverbindungen sind radioaktiv (sie enthalten das radioaktive Isotop K-40), weshalb sie eine deutliche höhere Zählrate aufweisen als beispielsweise Kochsalz oder Seesand, welche in der Größenordnung des Nulleffekts strahlen.

A9 ○

Anwendungsverfahren	Medizin	Technik/Landwirtschaft	Geologie/Archäologie
Bestrahlung	Zerstörung von schnell wachsenden Zellen (Krebs); Entkeimung von medizinischen Instrumenten	Kunststoffveredelung; Abtöten von Bakterien, Sporen und Viren	
Markierung	Lokalisierung krankhafter Prozesse, z. B. Schilddrüsenerkrankung (Szintigramm)	Verschleißmessungen; Stoffwechseluntersuchungen bei Pflanzen, Tieren; Leckbestimmung in Rohren	
Durchstrahlung		zerstörungsfreie Dickenmessung; Materialprüfung (z. B. Gussstücke)	
Analyse von Isotopen und Halbwertszeiten			Altersbestimmung von Gesteinsformationen, Fossilien, Sedimenten, Artefakten; Herkunftsbestimmung von Werkstoffen, Sedimenten usw.

A10 ○ Die schädigende Wirkung radioaktiver Strahlung hängt von der Dauer der Einwirkung, der Äquivalentdosis und der Strahlungsart ab, sowie von der Art des betroffenen Gewebes.

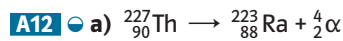
(S.144) **A11** ○ a)

- Strahlung weitgehend abschirmen!
- Großen Abstand zur Strahlungsquelle 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 dort als weiter bestehende radioaktive Quellen somatische und genetische Schäden auslösen.

b)

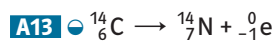
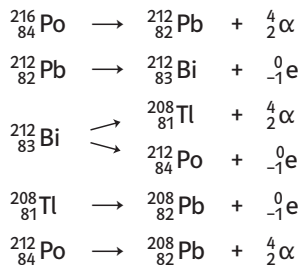
- Kosmische Strahlung (Höhenstrahlung)
- Terrestrische Strahlung (Gesteine, Böden, Baumaterialien)
- Eigenstrahlung des menschlichen Körpers durch die beim Stoffwechsel aufgenommenen Nuklide, z. B. C-14, K-40, Rn-222.
- schwache Röntgenstrahlung von Röhren-Fernsehgeräten und Röhren-Monitoren
- ggf. Röntgendiagnostik (besonders Computer-Tomographie CT) und Röntgentherapie



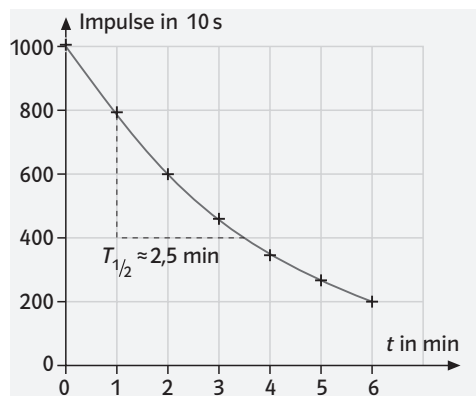
b) Eine Reihe von Folgeprodukten, die beim radioaktiven Zerfall von Uran, Thorium und Neptunium auftreten. Diese Folgeprodukte sind meist wieder radioaktiv und wandeln sich weiter um. Dieser Prozess kommt erst dann zum Ende, wenn ein stabiler (nicht-radioaktiver) Kern entsteht. Man kennt folgende Zerfallsreihen:

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

c)



A14 ○ Siehe Grafik



(S.144)

A15 ● **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 verstoffwechsell haben, 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 ($1/2^3$) \Rightarrow drei Halbwertszeiten vergangen \Rightarrow relatives Alter ca. 17 280 Jahre (entspricht je nach Untersuchungsdatum ungefähr 15 280 v. Chr.).

Zusätzliche Informationen: Da zum einen der C-14-Gehalt der Proben verfälscht sein kann (s. o. oder auch Aufgabe 16), 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. 2 350 \pm 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“ ist als andere archäologische Altersbestimmungen, die häufig nur auf Abfolgen beruhen. 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.

A16 ● 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.

A17 ● 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

(S.144) **A18** ● Die freiwerdende Bindungsenergie bei der Kernspaltung wird vorwiegend als Bewegungsenergie der Spaltprodukte freigesetzt. Dazu kommt noch die Strahlungsenergie der auftretenden γ -Strahlung. Durch Abbremsen der energiereichen Spaltprodukte und Absorption der Strahlung wird sie in thermische Energie des umgebenden Materials und schließlich des Kühlmittels überführt. Da auf engem Raum eine sehr große Energiemenge überführt wird, muss der Vorgang genau dosiert und kontrolliert werden.

A19 ● 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.

A20 ● **Kernkraftwerke** (vgl. auch Schülerbuch S.140, A2):

- Freisetzen radioaktiver Strahlung bei Gewinnung und Transport der Rohstoffe (Uranerze)
- Freisetzen radioaktiver Strahlung im Betrieb: Abgabe von radioaktiven Edelgasen, Iod und Tritium über die Kamine
- Entstehung radioaktiver und hochgiftiger Zwischen-, Neben- und Endprodukte (Spaltprodukte, Nuklide), auch beim Rückbau kerntechnischer Anlagen
- ungeklärte Entsorgung bzw. Endlagerung der Zwischen-, Neben- und Endprodukte (z.T. extreme Halbwertszeiten)
- komplexe, schwierig zu beherrschende Hochtechnologie
- Gefahr von Unfällen im Kraftwerksbetrieb sowie bei Transport und Lagerung der Zwischen-, Neben- und Endprodukte: menschliches oder technisches Versagen, Materialbelastung bzw. Materialsicherheit (auch Anschläge oder Sabotage); entsprechend gravierende Folgen, insbesondere nach Reaktorschmelzen: Freisetzen großer Energiemengen und radioaktiver Stoffe (Gas, Staub, Fallout), dadurch langfristige Verseuchung riesiger Gebiete möglich
- Erwärmung der Umgebung durch Kühlmaßnahmen (Gewässer)

Kohlekraftwerke:

- Emissionen von Aerosolen (z. B. Staub, insbesondere Feinstaub), Kohlenstoffdioxid, Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden (Treibhausgase); Anreicherung dieser in der Atmosphäre; Gefahr der Klimaveränderung (Erwärmung)
- relativ geringe Effizienz
- Abbau und Transport der Rohstoffe und Endprodukte (Schlacken) energieaufwändig und großteils ebenfalls mit Staub- und Abgasemissionen verbunden
- Erwärmung der Umgebung durch Kühlmaßnahmen (Gewässer)

A21 ● S. o., Lösung der Aufgabe Schülerband S.140, A2 und 144, A20.

A22 ● Mit diesen Maßnahmen soll erreicht werden, dass radioaktive Stoffe sich weder auf der Haut absetzen noch in den Körper gelangen können.