

Aufgaben zum Themengebiet „Atome“ mit Lösungen

1. Ölfleckversuch

Hans, Martin und Sandra führen gemeinsam den Öltröpfchenversuch durch, wobei ihnen aus Versehen anstelle eines zwei Tröpfchen auf die Wasseroberfläche fallen. Hans behauptet, der „Ölteppich“ habe nun den doppelten Flächeninhalt wie bei einem Tröpfchen, Martin meint, die Fläche des Ölteppichs sei von der Anzahl der Tröpfchen unabhängig und Sandra meint schließlich, die Dicke des Ölteppichs sei bei Ölsäure sowieso immer gleich. Wer von den dreien hat nun Recht? Nimm Stellung zur Aussage der drei Experimentatoren.

Lösung:

Auf Grund der monomolekularen Ausbreitung verdoppelt sich der Flächeninhalt, die Dicke des Teppichs bleibt mit dem gleichen Argument unverändert. Hans und Sandra haben also Recht.

2. Motoryacht

Durch eine Unachtsamkeit verliert eine Motoryacht 1 Liter Dieselöl, das sich in Folge dessen auf der windstillen, spiegelglatten Meeresoberfläche ausbreitet.

- Schätze die durch ihn abgedeckte Fläche ab (Annahmen: 1. der Ölfilm ist monomolekular; 2. Der Molekulaufbau ähnelt dem des Ölsäuremoleküls).
- Wie lange wäre unter diesen Umständen ein Ölteppich der gleichen Größe auf dem Rhein-Main-Donau-Kanal, der 55 m breit ist?

Lösung:

a) $A = V / d = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10^6 \text{ m}^2$

b) $x = A / y = 10^6 \text{ m}^2 : 55 \text{ m} \approx 18 \text{ km}$

3. Atomgröße

Stell dir vor, der Atomkern wäre so groß wie ein Stecknadelkopf. Welche Ausdehnung hätte dann ungefähr ein Atom?

Lösung

Das Atom ist um den Faktor $10^4 - 10^5$ größer, also hätte es in etwa die Ausdehnung eines Fußballplatzes.

4. Rutherford

Was geschieht, wenn ein kleiner Flummi zentral gegen eine ruhende Bowlingkugel prallt?
Was geschieht, wenn ein α -Teilchen zentral auf einen ruhenden Goldkern trifft?

Lösung:

Auf Grund der großen Masse der Bowlingkugel bzw. des Goldkerns gegenüber dem jeweiligen Projektil werden der Flummi bzw. das α -Teilchen reflektiert, wobei sich ihre kinetische Energie kaum ändert. Bowlingkugel bzw. Goldkern bleiben aus dem gleichen Grund praktisch in Ruhe.

5. Größenordnungen

Ordne und nenne die Größenordnungen der folgenden Materiebausteine vom größten zum kleinsten: Atom, Proton, Salzkristall, Elektron, Molekül, Quark, Atomkern, Neutron.

Lösung:

Salzkristall: 10^{-3} m, Molekül: 10^{-9} m, Atom: 10^{-10} m, Atomkern: 10^{-14} m, Proton und Neutron: 10^{-15} m, Quark und Elektron: $< 10^{-18}$ m

6. Fernbedienung

Betrachte die Front einer Infrarot-Fernbedienung indirekt über den kleinen Bildschirm einer Digitalkamera bzw. eines Photohandys. Drücke auf eine Taste der Fernbedienung. Erkläre die Beobachtung.

Lösung:

Die Infrarotdiode emittiert Infrarotstrahlung. Für diese ist unser Auge zwar nicht empfindlich, der CCD-Chip in einer Digitalkamera hingegen schon, weshalb die dort eintreffende Strahlung über den Bildschirm der Kamera für unser Auge sichtbar wird.

7. Natriumlicht

In einem zunächst völlig dunklen Raum wird als einzige Lichtquelle eine Natriumdampflampe eingeschaltet. Warum sind überhaupt keine Farbunterschiede zwischen den verschiedenen Gegenständen im Raum mehr wahrnehmbar?

Lösung:

Die verschiedenen Gegenstände emittieren unterschiedlich stark das spektralreine, gelbe Licht, weshalb von jedem Gegenstand in unterschiedlicher Intensität ausschließlich gelbes Licht ausgeht.

8. Farbspektrum

Ordne folgende Spektralbereiche bzw. Farbangaben in der richtigen Reihenfolge. Streiche die Begriffe, die nicht in die Reihe passen.

blau – ultraviolett – gelb – grün – infrarot – schwarz – rot – grau – orange – türkis;

Lösung:

Infrarot – rot – orange – gelb – grün – türkis – blau – violett – ultraviolett; ~~schwarz, grau.~~

9. Schülerexperimente zu Farbspektren

Photographiere mit einer Digitalkamera verschiedene Spektren, die du mit deinem selbst-gebauten Spektralapparat beobachtest, z. B. von Licht verschiedener Straßenlaternen.

10. Energie der Photonen

- Der Ultraviolett-Anteil (UV) im Sonnenlicht kann viele chemische Verbindungen verändern und dadurch Stoffe angreifen. So bleichen im Sonnenlicht viele Farbstoffe aus, PE-Kunststoff wird zersetzt, und Hautzellen werden geschädigt. Erkläre, warum gerade der UV-Anteil so gefährlich ist, während die Infrarotstrahlung (IR) keine Schäden dieser Art hervorruft.
- Eine grüne Leuchtdiode wird bei einer Spannung von 2,5 V betrieben. Dabei fließt ein Strom von 16 mA. Wie viele Photonen emittiert sie in jeder Sekunde, wenn ihr Wirkungsgrad 10 % beträgt?
- Es gibt viele Leuchtstoffe, die ultraviolettes Licht in sichtbares Licht umwandeln. Begründe, dass es im Gegensatz dazu keine Leuchtstoffe gibt, die infrarotes Licht in sichtbares Licht umwandeln.

Lösung:

- Die Photonen des UV-Lichts sind im Gegensatz zu denen des IR-Bereichs sehr energiereich und deshalb in der Lage, chemische Bindungen zu zerstören.*
- $$E_{\text{Licht}} = 0,10 \cdot E_{\text{elekt}}$$

$$N \cdot E_{\text{Phot}} = 0,10 \cdot E_{\text{elekt}}$$

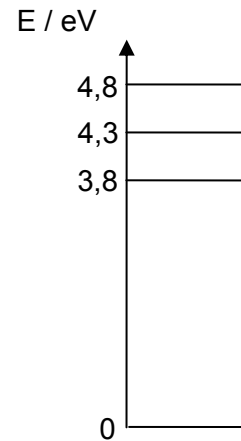
$$N \cdot 2,5 \text{ eV} = 0,10 \cdot U I t$$

$$N = 4,0 \text{ mJ} / 2,5 \text{ eV} = 1 \cdot 10^{16}$$
- Leuchtstoffe werden durch UV-Licht sehr stark angeregt, wobei die Energie in Leuchtstoffen „portionsweise“ abgegeben werden kann. Dabei wird ein UV-Photon absorbiert, worauf mehrere Photonen des sichtbaren oder des IR-Bereichs abgegeben werden. Umgekehrt ist es durch IR-Photonen nicht möglich, den Farbstoff so stark anzuregen, dass ein UV-Photon emittiert wird.*

11. Energieniveaus (1)

Eine Probe von Atomen wird zum Leuchten angeregt, wodurch Photonen mit unterschiedlicher Energie ausgesandt werden. Die Photonen werden registriert, ihre Energie wird gemessen. Alle Atome in der Probe sind durch das Energieniveauschema auf der rechten Seite charakterisiert.

Welche Aussagen über die beobachteten Photonen sind wahr (w), welche falsch (f)?



- ☐ a) Die kleinste Photonenenergie ist 0,5 eV.
- ☐ b) Die kleinste Photonenenergie ist 3,8 eV.
- ☐ c) Man registriert 3 verschiedene Photonenenergien.
- ☐ d) Man registriert 4 verschiedene Photonenenergien.
- ☐ e) Man registriert 5 verschiedene Photonenenergien.
- ☐ f) Man registriert 6 verschiedene Photonenenergien.
- ☐ g) Die größte beobachtete Photonenenergie ist 4,8 eV.
- ☐ h) Die größte beobachtete Photonenenergie ist 12,9 eV.
- ☐ i) Man kann Photonen mit der Energie 1,0 eV beobachten.

Lösung:

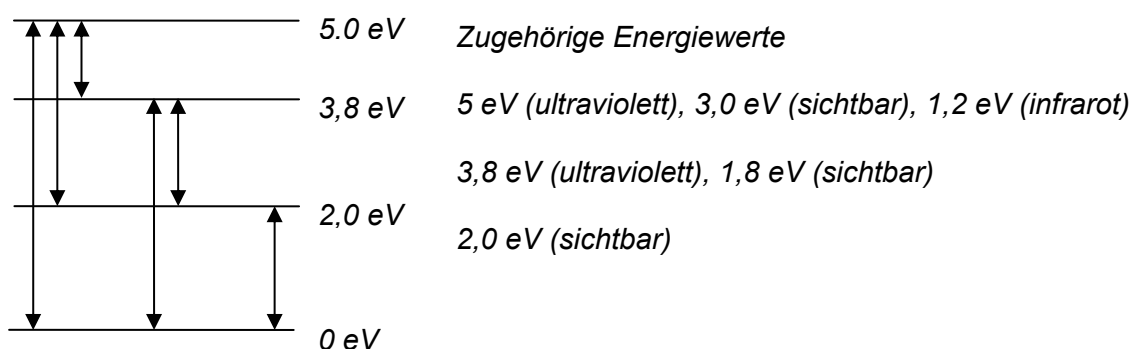
a) w; b) f; c) f; d) f; e) w; f) f; g) w; h) f; i) w

12. Energieniveaus (2)

Eine bestimmte Atomsorte habe drei Anregungszustände mit den Energien $E_1 = 2,0$ eV, $E_2 = 3,8$ eV und $E_3 = 5,0$ eV.

- a) Zeichne ein maßstabgerechtes Energieniveauschema und trage alle möglichen Übergänge als Pfeile ein.
- b) Gib bei jedem der Übergänge an, welchem Spektralbereich das betreffende Photon angehört.

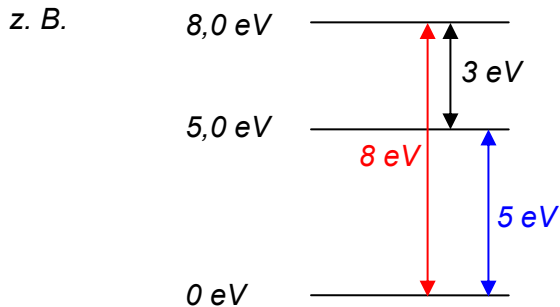
Lösung:



13. Energieniveaus (3)

Bei einer bestimmten Atomsorte, die zum Leuchten angeregt wurde, kann man bei den emittierten Photonen die Energiewerte 3,0 eV, 5,0 eV und 8,0 eV beobachten. Zeichne ein Energieniveauschema, das dieser Atomsorte entsprechen kann und zeichne in das Schema die Übergänge und die zugehörigen Energiewerte ein.

Lösung



14. Absorption von Photonen

Eine Lichtquelle L beleuchtet eine Flamme F vor einem weißen Schirm. Erkläre, ob unter den folgenden Bedingungen ein Schatten der Flamme entsteht:

- a) L: Glühlampe; F: Gasflamme mit Kochsalz-Stäbchen (Flamme leuchtet gelb)
- b) L: Na-Dampflampe; F: Gasflamme mit Kochsalz-Stäbchen (Flamme leuchtet gelb)
- c) L: Na-Dampflampe; F: Kerzenflamme (Flamme leuchtet gelb)

Lösung:

- a) *Nein, die Lampe emittiert das gesamte sichtbare Spektrum, in der Na-Flamme werden aber nur Photonen einer ganz bestimmten Energie absorbiert; fast alle Photonen durchdringen die Flamme.*
- b) *Ja, denn die Na-Dampflampe sendet nur solche Photonen aus, die von den Na-Atomen in der Flamme gut absorbiert werden können, weshalb sich ein Schatten bildet.*
- c) *Nein, denn in der Flamme befinden sich praktisch keine Na-Atome, die die Photonen absorbieren könnten. Die gelbe Färbung der Flamme kommt durch die Anregung anderer Atome zustande, deren Gelb einem etwas anderen Energiebereich zuzuordnen ist.*

15. Entstehung von Röntgenstrahlung

- a) Viele Stoffe ändern ihre Farbe (d. h. ihr sichtbares Spektrum), wenn ihre chemische Bindung verändert wird. Das Röntgenspektrum eines Stoffes ist jedoch unabhängig vom chemischen Bindungszustand. Warum?
- b) Beschreibe die Energieumwandlungen, die stattfinden, wenn ein energiereiches Elektron auf ein Kupferatom trifft. Kann man mit Elektronen der kinetischen Energie 6 keV Röntgenphotonen der Energie 8 keV erzeugen?

Lösung:

- a) *Für die chemische Bindung eines Stoffs sind nur die äußeren Elektronen verantwortlich, die inneren Elektronen sind davon unberührt. Da Röntgenstrahlung jedoch nur emittiert wird, wenn innere Elektronen aus dem Atom geschlagen werden, ist das Röntgenspektrum davon unberührt.*
- b) *Nein, denn die Elektronenhülle kann maximal mit einer Energie von 6 keV angeregt werden, weshalb die Emission eines 8 keV Photons nicht möglich ist.*

16. Erzeugung und Anwendung von Röntgenstrahlung

- a) Warum ist es für eine gewöhnliche Röntgenaufnahme in der Medizin wichtig, dass die Röntgenröhre einen kleinen Brennfleck (von den Elektronen getroffene Stelle) besitzt?
- b) Warum sollte die Photoplate möglichst empfindlich sein?
- c) Warum sind die Organe auf einer gewöhnlichen Röntgenaufnahme stets vergrößert abgebildet?
- d) Ein Organ wie der Magen ist auf einer Röntgenaufnahme nur sehr schlecht zu erkennend (Warum?). Um eine bessere Aufnahme des Magens anzufertigen, muss der Patient vorher eine ungiftige, metallhaltige chemische Verbindung („Kontrastmittel“) schlucken. Erkläre, wie das Kontrastmittel wirkt.

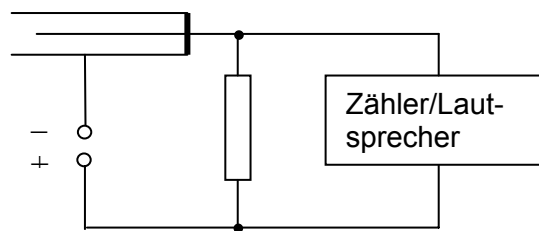
Lösung:

- a) *Auf der Photoplate erkennt man einen Schattenriss des Knochens. Wäre der Brennfleck groß, hätte man einen ausgeprägten Übergangschattenbereich.*
- b) *Um die Strahlendosis für die Patienten möglichst gering zu halten.*
- c) *Nach den Gesetzen der geometrischen Optik bzw. der zentrischen Streckung ist der Streckungsfaktor bei jeder Röntgenaufnahme größer als 1.*
- d) *Im Gewebe des Magens wird etwa gleich viel Röntgenstrahlung absorbiert wie in seiner Umgebung, weshalb das Bild sehr kontrastarm ist. Bei Vorhandensein von Kontrastmittel wird ein deutlich höherer Anteil der Röntgenstrahlung absorbiert und auf der Photoplate entsteht ein Schatten.*

17. Nachweis radioaktiver Strahlung

Benutze für die folgenden Teilaufgaben dein Schulbuch oder das Internet als Informationsquelle.

- a) Skizziere den Aufbau eines beschrifteten Versuchsaufbaus des Geiger-Müller-Zählrohrs und erkläre seine Funktionsweise (Beschränkung auf den Auslösebereich!).
- b) Finde mit Hilfe des Internets heraus, wie die Physiker Henri Antoine Becquerel (1852-1908), Marie (1867-1934) und Pierre (1859-1906) Curie die Radioaktivität entdeckten und fasse deine Informationen kurz zusammen.

Lösung**a) Aufbau des GMZ:**

Radioaktive Strahlung ionisiert Luft, d. h. macht aus zunächst neutralen Luftmolekülen geladene Teilchen. Funktionsweise des GMZ: Gelangt ein Teilchen der radioaktiven Strahlung in das mit Gas gefüllte Zählrohr, so entstehen positive Gasionen und freie Elektronen. Die Elektronen werden im Hochspannungsfeld so stark beschleunigt, dass sie selbst wieder ionisieren können. Es entsteht eine Ladungslawine und damit ein Stromstoß, der am Zähler registriert wird.

- b) Becquerel untersuchte zunächst Röntgenstrahlung und Fluoreszenz. Zufällig legte er eine verpackte Photoplatte mit einem Kaliumuranyl-Kristall in eine Schublade. Beim Entwickeln des Filmes entdeckte er wider Erwarten einen Grauschleier. Es musste also eine neue Art von Strahlung geben, die zunächst als Becquerel- oder Uranstrahlung bezeichnet wurde. Marie und Pierre Curie untersuchten diese Strahlung weiter und fanden dabei zwei neue Elemente, nämlich Radium und Polonium. Danach versuchte v. a. Marie Curie möglichst reines Radium zu gewinnen. Alle drei zusammen erhielten 1903 für ihre Arbeiten zur Radioaktivität den Nobelpreis für Physik.

18. Grundlegende Eigenschaften von α -, β - und γ -Strahlung

- a) Ein Radium-Präparat sendet α -, β - und γ -Strahlung aus. Fertige zur Lösung folgender Aufgabe eine Skizze an: Die Magnetfeldlinien weisen in die Zeichenebene hinein, das Präparat strahlt nach unten. Welche Ablenkungen erfahren die einzelnen Strahlenarten?
- b) Du hast ein radioaktives Präparat, das α -, β - und γ -Strahlung aussendet. Für ein bestimmtes Experiment ist es aber wichtig, ausschließlich γ -Strahlung zu verwenden. Wie gehst du vor? Begründe dein Vorgehen kurz.
- c) Ein unbekanntes radioaktives Präparat hat folgende Eigenschaften: Bei Abschirmung mit Papier ändert sich die Zählrate kaum, mit einem dünnen Bleiblech nimmt sie merklich ab. Welche Strahlung(en) sendet das Präparat vermutlich aus?

Lösung:

- a) Siehe Zeichnung bei Unterrichtsinhalte 1.14, lediglich Drehung um 90° im Uhrzeigersinn.
- b) Schirme das Präparat mit einer wenige mm dicken Aluminiumplatte ab.
- c) Das Präparat sendet vermutlich Betastrahlung aus.

19. Entstehung von α -, β - und γ -Strahlung

Ziehe zur Beantwortung der folgenden Fragen ein Periodensystem oder eine Nuklidkarte heran.

- a) Welches Element entsteht jeweils beim
- (1) α -Zerfall von Bi 212?
 - (2) α -Zerfall von Th 229?
 - (3) β -Zerfall von Pb 214?
 - (4) β -Zerfall von Bi 214?
- b) Warum entsteht bei einem γ -Zerfall kein neues Element?
- c) Das u. a. bei der Kernspaltung verwendete U 235 ist der Ausgangskern einer Reihe von aufeinander folgenden α - und β -Zerfällen, an deren Ende das stabile Pb 207 steht. Wie viele α -Zerfälle sind in dieser "Zerfallsreihe" von U 235 bis Pb 207 enthalten? Begründe deine Antwort.

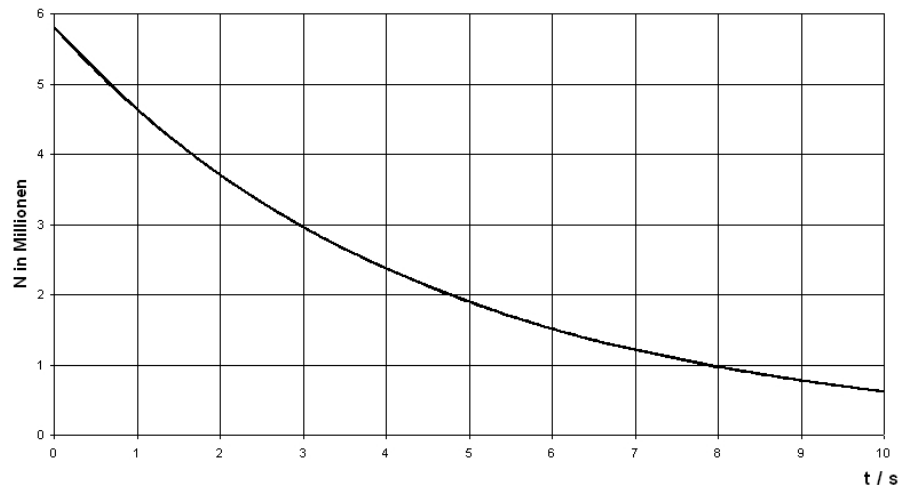
Lösung:

- a) (1) $Bi\ 212 \rightarrow Tl\ 208$
(2) $Th\ 229 \rightarrow Ra\ 225$
(3) $Pb\ 214 \rightarrow Bi\ 214$
(4) $Bi\ 214 \rightarrow Po\ 214$
- b) Weil sich dabei die Protonenzahl im Kern nicht ändert.
- c) Die Differenz der Nukleonenzahlen ist $235 - 207 = 28$
Entsprechend ist die Anzahl der α -Zerfälle: $28 : 4 = 7$
(Begründung: Pro α -Zerfall sinkt die Nukleonenzahl um 4, beim β -Zerfall bleibt sie gleich.)

20. Radioaktiver Zerfall und Zerfallsgesetz

- a) Das Radonisotop Rn 219 hat eine Halbwertszeit von 4,0 s.
- (1) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Rn 219-Kern innerhalb der nächsten 4,0 s zerfällt?
 - (2) Angenommen, der betrachtete Rn 219-Kern ist in den 4,0 s nicht zerfallen. Wie groß ist dann die Wahrscheinlichkeit, dass er in den darauf folgenden 4,0 s zerfällt? Vergleiche die Ergebnisse mit dem Alterungsprozess eines Menschen.
 - (3) Hängt die Wahrscheinlichkeit eines Menschen, innerhalb des nächsten Jahres zu versterben, von seinem Alter ab? Begründe damit die Formulierung "Atome altern nicht."

- b) Entnimm aus nebenstehender Graphik möglichst genau die Halbwertszeit des betrachteten radioaktiven Stoffes:

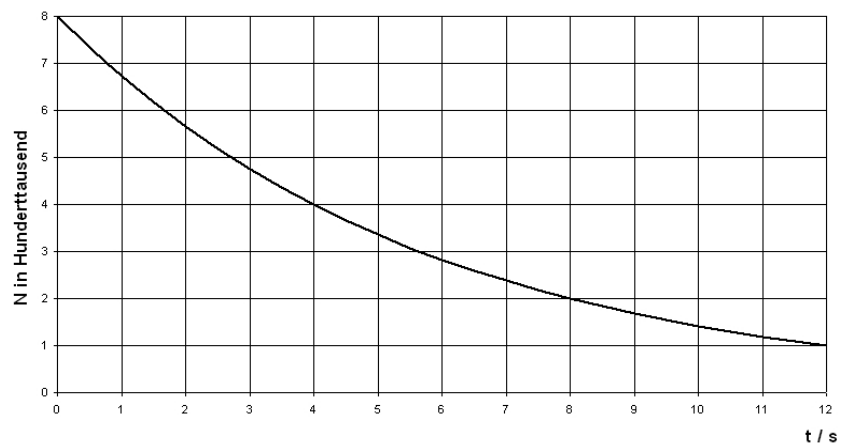


- c) Zeichne ein t-N-Diagramm für anfänglich 800000 Rn 219-Kerne. Welcher Bruchteil dieser 800000 Kerne ist nach 2, 4, 8 Halbwertszeiten noch vorhanden? Wie viele Halbwertszeiten dauert es, bis mehr als 90 %, 95 %, 99 % und 99,9 % der 800000 Kerne zerfallen sind?

Lösung:

- a) (1) Die Wahrscheinlichkeit, dass der betrachtete Kern innerhalb der ersten 4,0 s zerfällt, beträgt 50 %.
- (2) Die Wahrscheinlichkeit, dass ein innerhalb der ersten 4,0 s nicht zerfallener Kern innerhalb der zweiten 4,0 s zerfällt, beträgt ebenfalls 50 %.
- (3) Die Zerfallswahrscheinlichkeit ändert sich also nicht mit dem „Alter“ eines radioaktiven Korns/Atoms. Daraus resultiert die Formulierung: „Atome altern nicht“. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Mensch innerhalb des nächsten Jahres verstirbt, ist (grob gesagt) umso größer, je älter er ist.
- b) Das Ablesen der zugehörigen Zeiten z. B. zu $N = 5,0$ Mio. und $N = 2,5$ Mio. und anschließende Differenzbildung liefert die Halbwertszeit 3,1 s.
- c) t-N-Diagramm:

Zerfall von Rn 219



Anzahl Halbwertszeiten	2	4	8
Bruchteil noch vorhandener Kerne	25 %	6,25 %	0,39 %

Mehr als zerfallen	90 %	95 %	99 %	99,9 %
Weniger als unzerfallen	10 %	5 %	1 %	0,1 %
Benötigte Halbwertszeiten	4	5	7	10

21. Altersbestimmung: Ötzi und die Radiocarbonmethode

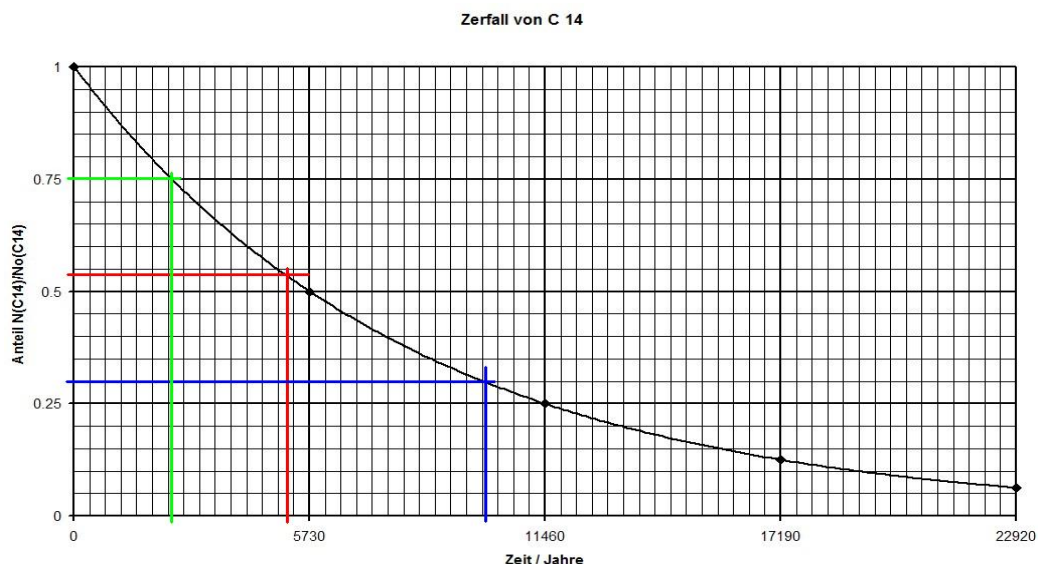
Im Jahr 1991 haben Wanderer in den Alpen bei einem Gletscher eine Leiche gefunden, die sehr bald den Namen Ötzi bekam. Ötzis Alter wurde im Labor mit der Radiocarbonmethode bestimmt. Man fand heraus, dass der Anteil von C 14 (Halbwertszeit 5730 Jahre) auf 53 % des Ausgangswertes abgesunken war.

- Beschreibe, wie die Altersbestimmung mit der C 14-Methode funktioniert.
- Zeichne ein Diagramm, das den prozentualen Verlauf des Gehalts an radioaktivem Kohlenstoff in Abhängigkeit von der Zeit über vier Halbwertszeiten darstellt, und bestimme damit graphisch das ungefähre Todesjahr von Ötzi.
- Welchen Anteil an C14 würde man in etwa für einen vor 10000 Jahre abgestorbenen Organismus erwarten?
- Wie lange ist ein Organismus in etwa schon tot, der noch einen Anteil von 75% an C14 enthält?

Lösung:

a) siehe Text zu 1.17.

b) Siehe die im Diagramm eingezeichneten Linien (rot): Ötzi ist vor ca. 5200 Jahren gestorben. (rechnerische Lösung: 5248 Jahre)



- c) *Siehe im Diagramm eingezeichnete Linien (blau): ca. $0,3 = 30 \%$.
(rechnerische Lösung: 29,8 %).*
- d) *Siehe im Diagramm eingezeichnete Linien (grün): seit ca. 2400 Jahren.
(rechnerische Lösung: 2378 Jahre).*

22. Bestrahlung von Tumoren

Ist ein Mensch an einem Tumor erkrankt, setzen die Ärzte eventuell ein radioaktiv strahlendes Präparat im Körper des Patienten nahe der betreffenden Stelle ein, um den Tumor zu bekämpfen. Erkläre möglichst genau, wie dieses Vorgehen zu einer Genesung des Patienten beitragen kann.

Lösung:

Die radioaktive Strahlung tötet die Zellen rund um das Präparat ab. Das Immunsystem sorgt dafür, dass die toten Zellen aus dem Organismus entfernt werden und ersetzt diese Zellen durch neue Zellen. Durch die Strahlung werden auch gesunde Zellen abgetötet. Unser Organismus verfügt über Reparaturmechanismen, so dass das gesunde Gewebe durch eine derartige Behandlung nicht zwangsläufig Schaden nehmen muss, solange das Immunsystem mit der Regeneration nicht überfordert ist.

23. Szintigramm einer Schilddrüse

Die Schilddrüse lässt sich mit Hilfe eines so genannten Szintigramms gut bildlich darstellen (ähnlich einer Röntgenaufnahme).

- a) Informiere dich (z. B. über das Internet), wie ein Szintigramm aufgenommen wird.

Bei einer solchen Aufnahme ist der Patient einer Strahlungsbelastung von ca. 0,6 mSv in Form von β - und γ -Strahlung ausgesetzt.

- b) Erörtere die Gefahren dieser Diagnosemöglichkeit. Berücksichtige dabei die durch natürliche Radioaktivität hervorgerufene Belastungen.
- c) Erläutere aus Sicht des Strahlenschutzes, wie die Untersuchung durchgeführt werden muss, wenn Patient und Arzt keiner unnötigen Strahlungsbelastung ausgesetzt werden sollen.

Lösung:

- a) *Der Patient bekommt intravenös ein radioaktives Präparat gespritzt, das sich v. a. in der Schilddrüse anreichert. Mit Hilfe einer Kamera, die ähnlich einem GMZ diese Strahlung registrieren kann, wird die Schilddrüsenregion abgetastet und aus den Informationen mit Hilfe eines Computers ein Bild erzeugt.*
- b) *Ein Wert von 0,6 mSv entspricht etwa 30 % der natürlichen jährlichen Belastung durch radioaktive Stoffe. Es handelt sich deshalb bei der Szintigraphie um eine erhebliche zusätzliche Strahlenbelastung, die durch die medizinische Notwendigkeit gerechtfertigt sein muss.*
- c) *Die Bestrahlung muss so kurz wie möglich sein und soll nur so energiereich wie unbedingt nötig sein. Der Arzt soll außerdem möglichst großen Abstand von dem radio-*

aktiven Präparat halten. Das Präparat muss vor und nach der Untersuchung gut abgeschirmt und verschlossen sein.

24. Kernspaltung und Kernfusion

- Bei der Spaltung von U 235 können als Spaltprodukte beispielsweise Cs 140 und Rb 94 entstehen. Auch diese Spaltreaktion wird von einem Neutron ausgelöst. Ermittle, wie viele Neutronen hierbei entstehen, und gib die vollständige Reaktionsgleichung an.
- Für eine künstliche Kernfusion auf der Erde ist vor allem die Reaktion von Deuterium (Wasserstoffisotop H 2) mit Tritium (Wasserstoffisotop H 3) im Zentrum der aktuellen Forschung. Ermittle die vollständige Reaktionsgleichung und die pro Fusionsprozess freigesetzte Energiemenge.

Lösung:

- Die Anzahl der frei werdenden Neutronen ergibt sich aus der Betrachtung der Gesamtnukleonenzahl vor und nach der Reaktion: $(235 + 1) - (140 + 94) = 2$
Vollständige Reaktionsgleichung: $U\ 235 + n \rightarrow Cs\ 140 + Rb\ 94 + 2n$
- $H\ 2 + H\ 3 \rightarrow He\ 4 + n$
Pro Fusionsprozess wird eine Energie von knapp 18 MeV frei.

25. Fusion in der Sonne

Im Plasma der Sonne fusioniert Wasserstoff zu Helium. Die genaueren Vorgänge sind kompliziert und werden unter [www_PP-Fusion/leifi] gut veranschaulicht. In der Bilanz werden jedoch vier Wasserstoffatome zu einem Heliumatom verschmolzen.

- Berechne aus den Atommassen von Wasserstoff ($1,6737 \cdot 10^{-27}$ kg) und Helium ($6,6447 \cdot 10^{-27}$ kg) die bei jedem Fusionsprozess frei werdende Energie.
- Recherchiere, wie viel Energie die Sonne pro Sekunde abgibt, und berechne daraus, welchem Massenverlust sie jährlich unterliegt.

Lösung:

- $4 m_H - m_{He} = \Delta m$
 $\Delta m \approx 5,0 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$
 $E = \Delta m c^2 = 28 \text{ MeV}$
- Energieabgabe pro Sekunde: $3,6 \cdot 10^{26} \text{ J}$, $E = m c^2$
 $\rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,6 \cdot 10^{26} \text{ kg}}{(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 4,0 \cdot 10^9 \text{ kg} \approx 4 \text{ Miot}$
 $\rightarrow \text{Massenverlust pro Jahr: } 4 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \approx 1,2 \cdot 10^{20} \text{ kg}$

26. Funktionsweise eines Kernkraftwerks

- Erläutere die Energieumwandlungskette, die zu einem Kernkraftwerk gehört. Nenne dabei die verschiedenen auftretenden Energieformen und die technischen Energieumwandler.
- Erkläre, was man allgemein unter einer kontrollierten und einer unkontrollierten Kettenreaktion versteht.
- Wodurch wird bei Uran 235 eine Kettenreaktion ausgelöst, und wie schafft man es im Kernkraftwerk, diese kontrolliert ablaufen zu lassen? Erkläre anhand einer Skizze und nenne eine mögliche Reaktionsgleichung.
- Wie kann man schnelle Neutronen am besten abbremsen?
- Ein Kernkraftwerk gibt eine elektrische Leistung von etwa 1200 MW ab. Es hat einen Wirkungsgrad von 34 %. Was bedeutet dies für die Umgebung des Kraftwerks? Warum werden Kernkraftwerke immer an großen Flüssen gebaut?
- Welche Vor- und Nachteile hat ein Kernkraftwerk im Vergleich zu einem sehr großen Wasserkraftwerk?

Lösung:

a) bis d) siehe Text zu 1.22

- Bei einem Wirkungsgrad von 34 % werden die restlichen 66 % der abgegebenen Leistung im Wesentlichen in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben. Die thermische Verlustleistung beträgt daher ca. 2,3 GW. Eine solch hohe Leistung kann nur über groß dimensionierte Kühltürme an die Umgebung (Luft und Wasser) abgegeben werden und führt dort zu einer deutlichen Temperaturerhöhung (z. B. einige Grad Celsius bei Flüssen). In heißen Sommern mussten aus Gründen der Überhitzung von Flüssen bereits Kernkraftwerke „heruntergefahren“ werden.*
- Nachteile: Geringer Ausstoß radioaktiver Substanzen, Einsatz eines nicht regenerativen Energieträgers, radioaktive Abfälle, Gefahr von Störfällen mit Gefährdung von Menschen und Umwelt.
Vorteile: momentane Versorgungssicherheit, keine CO₂-Emissionen*

27. Abschätzungen zu Kernkraftwerk, Kohlekraftwerk und Windkraftanlagen

Verwende bei den Aufgaben a) und b) den Wert 1/3 bzw. 33 % als Wirkungsgrad bei Steinkohle- und Kernkraftwerk.

- Das Kernkraftwerk Isar 2 gibt eine elektrische Leistung von 1475 MW ab. Berechne, wie viele Tonnen Uran für die Energieproduktion eines Jahres näherungsweise abgebaut werden müssen, wenn man diese Leistung konstant ein Jahr lang abgeben möchte.
- Ein Steinkohlekraftwerk erbringe eine elektrische Leistung von 700 MW. Wie viele Tonnen Steinkohle müssen für die Energieproduktion eines Jahres von zwei solcher Kraftwerke näherungsweise abgebaut werden, wenn man diese Leistung konstant ein Jahr lang abgeben möchte? Vergleiche mit dem Ergebnis von a).

Die gesamte elektrische Maximalleistung der in Deutschland installierten Windkraftanlagen betrug Ende 2006 ca. 20 GW. Die aus diesen Anlagen in das Stromnetz eingespeiste elektrische Energie betrug 40 Mrd. kWh.

- c) Wie viele Stunden müssten die Anlagen unter voller Leistung laufen, dass diese Energiemenge abgegeben würde? Welcher mittlerer Dauerleistung würde es entsprechen, wenn man annimmt, die Anlagen liefen ein Jahr lang konstant mit dieser Leistung? Vergleiche mit den Leistungen aus a) und b).

Lösung:

a) $P = \frac{W}{t} \rightarrow W = P \cdot t$

$$3 \cdot 1475 \text{ MW} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 140 \cdot 10^6 \text{ GJ}$$

$$140 \cdot 10^6 \text{ GJ} : 144 \text{ GJ/kg} = 969 \text{ t}$$

b) $3 \cdot 2 \cdot 700 \text{ MW} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 134 \cdot 10^6 \text{ GJ}$

$$(134 \cdot 10^6 \text{ GJ}) : (0,01 \text{ GJ/kg}) = 13.400.000 \text{ t} = 13,4 \text{ Mio t}$$

Deutlich höherer Materialaufwand.

c) $P = \frac{W}{t} \rightarrow t = \frac{W}{P}$

$$\text{Stunden bei voller Leistung: } (40 \cdot 10^{12} \text{ Wh}) : (20 \cdot 10^9 \text{ W}) = 2000 \text{ h}$$

(ca. 23 % des Jahres)

$$\text{mittlere Dauerleistung: } 0,23 \cdot 20 \cdot 10^9 \text{ W} = 4,6 \text{ GW}$$

Der tatsächlich nutzbare Leistung ist deutlich geringer als die Spitzenleistung; Windkraftwerke geben ihre Energie unter großen Schwankungen ab.

