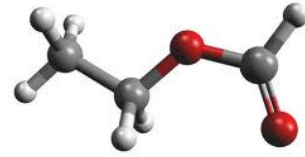


Atomphysik Sek I

1	Grundbegriffe	2
2	Protonenzahl = Kernladungszahl = Ordnungszahl = Z	2
3	Massenzahl A = Nukleonenzahl A	3
4	Isotope	3
5	Elementschreibweise	3
6	Die atomare Masseneinheit, das u und die Anzahl Teilchen in mol.	3
6.1	Wie viel u ergeben ein Gramm?	4
6.2	Wie viel Gramm ist ein u ?.....	4
6.3	Physikalische Werte der Kernbestandteile	4
7	Instabile Kerne und Radioaktivität.....	4
8	Arten und Eigenschaften von Strahlung: α , β und γ -Strahlung.....	5
8.1	α –Strahlung (Alpha-Strahlung) und Jodtabletten	5
8.2	β – Strahlung (Beta-Strahlung).....	5
8.3	γ – Strahlung (Gamma-Strahlung).....	6
8.4	Andere ionisierende Strahlungen.....	6
9	Halbwertszeit und Aktivität.....	6
9.1	Experimentelle Bestimmung der Halbwertszeit	6
9.2	Altersbestimmung von Fossilien mithilfe von Radiaktivität: Die C-14 Methode.....	7
10	Gefährdung durch radioaktive Strahlung: Strahlendosen.....	7
10.1	Energiedosis.....	7
10.2	Äquivalenzdosis.....	8
11	Detektion von Strahlung	9
11.1	Geiger-Müller-Zählrohr	9
11.2	Nebelkammer.....	9
12	Kernspaltung.....	9
13	Nuklidkarte (Isotopenkarte).....	10
14	Anhang.....	10
14.1	Zehnerpotenzen und Vorsilben.....	10
14.2	Aufgaben zum Selbsttest	11

1 Grundbegriffe

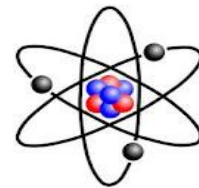
- Alle Materialien, also Gase, Flüssigkeiten und feste Körper bestehen aus Molekülen oder Atomen.
- Moleküle sind verbundene Atome.
- Die Art der Atome und ggf. ihre Kombination in einem Molekül bestimmt die Unterschiede zwischen den Materialien, also ob etwas Eisen, Plastik, Sauerstoff oder Wasser ist.
- Bei festen Gegenständen („Festkörpern“) sind die Moleküle bzw. Atome (einigermaßen) fest miteinander verbunden. Bei Flüssigkeiten können sie sich gegeneinander verschieben, aber nicht von den anderen lösen. Bei Gasen sind sie gar nicht verbunden.
- Die Physik befasst sich im Wesentlichen nur mit den Atomen, die Chemie mit den Molekülen.



Molekül
Die Kugeln sind die
einzelnen Atome

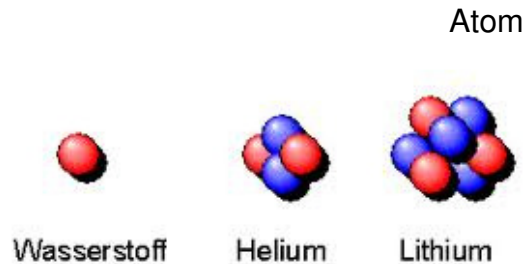
Ein Atom besteht aus:

- Atomkern in der Mitte
- Elektronen um den Kern herum in einer Art „Wolke“. Sie sind negativ geladen.



Der Kern eines Atoms besteht aus:

- Protonen: elektrisch positiv geladen
- Neutronen: elektrisch ungeladen
- Der Sammelbegriff für Protonen und Neutronen ist Nukleonen (lat. Nukleus: „Kern“)
- Die Masse von Proton P und Neutron N ist ungefähr gleich, sie ist ca. 1800-mal so groß wie die eines Elektrons



- Die Anzahl Protonen im Atomkern bestimmt den Namen des Elementes, also seine Eigenschaften (Farbe, Härte, etc.).
- Die Anzahl Neutronen im Atomkern bestimmt, welches „Isotop“ des Elementes vorliegt, auf die Eigenschaften des Elementes (außer der Masse natürlich) hat die Neutronenzahl keinen Einfluss.
- Normalerweise sind genauso viele Elektronen wie Protonen vorhanden. Wenn nicht, ist das Atom „ionisiert“. Es ist dann nicht mehr elektrisch neutral, sondern je nachdem, ob mehr Protonen oder mehr Elektronen vorhanden sind, positiv oder negativ geladen (auch mehrfach!). Man nennt es dann „Ion“. Helium mit einem Elektron ist also z.B. ein He^{1+} Ion.

2 Protonenzahl = Kernladungszahl = Ordnungszahl = Z

Da jedes Proton einfach positiv geladen ist, bestimmt die Zahl der Protonen in einem Kern die Ladung des Atomkerns oder Kernladungszahl. Man nennt die Kernladungszahl auch Ordnungszahl und kürzt sie mit Z ab. Protonenzahl, Kernladungszahl, Ordnungszahl und Z sind also das gleiche!

Diese Zahl bestimmt, um welches chemische Element es sich handelt, also welchen Eigenschaften und damit auch, welchen Namen das Element hat. Eisen hat z.B. die Ordnungszahl 26, Stickstoff die Ordnungszahl 7, Sauerstoff hat 8 Protonen im Atomkern und bei Gold ist $Z = 79$. Wasserstoff schließlich besteht nur aus einem Proton, hat also die Ordnungszahl 1.

Der Name des Elementes ist also direkt mit der Ordnungszahl verbunden. Man könnte also auch nur noch die Zahlen verwenden, unter „Gold“ und „Sauerstoff“ kann man sich aber mehr vorstellen als unter „Element 79“ bzw. „Element 8“.

Im Periodensystem sind alle Elemente, die es gibt, nach ihrer Ordnungszahl sortiert abgebildet. Dazu stehen noch viele andere Informationen über die Elemente.

Wie sich ein Atom chemisch verhält, wird vor allem von der Struktur der Atomhülle (also vor allem der Elektronenzahl) bestimmt. Da normalerweise so viele Elektronen wie Protonen vorhanden sind, bestimmt i.A. die Protonenzahl / Ordnungszahl das Verhalten des Atoms und deshalb auch seinen Namen (Gold ist eben etwas anderes als Eisen...).

3 Massenzahl A = Nukleonenzahl A

Wie oben erwähnt, besteht der Kern aus Protonen und Neutronen, also Nukleonen. Die Nukleonenzahl A ist also die Summe der Protonenzahl P und Neutronenzahl N: $A = P + N$. Protonen und Neutronen sind ungefähr gleich schwer, sie wiegen jeweils 1 u (zu „u“ siehe unten). Will man die Masse eines Atoms ungefähr bestimmen, so muss man also nur die Nukleonenzahl A mit der atomaren Masseneinheit u (siehe unten) multiplizieren: $m_{\text{Atom}} \approx A \cdot u$. Die Nukleonenzahl A heißt deswegen auch Massenzahl.

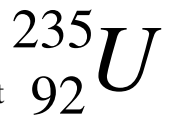
4 Isotope

Die Atomkerne von manchen Elementen gibt es mit verschiedenen Neutronenzahlen N. Die chemischen Eigenschaften sind die selben, aber ihre Masse (Massenzahl A) unterscheidet sich. Das nennt man Isotope eines Kerns. Weil sich Isotope chemisch absolut identisch verhalten, kann man Isotope nur sehr schwer voneinander trennen. Die meisten Elemente kommen in der Natur als Mischung verschiedener Isotope vor. Im PS steht daher als Massezahl immer die mittlere Massezahl, die sich aus der üblicherweise vorliegenden Mischung der verschiedenen Isotope ergibt. Beispiel: Wasserstoff gibt es mit 0, 1 und 2 Neutronen. Die letzten beiden Isotope sind allerdings kaum enthalten. Im PS steht also als Massenzahl 1,00794, also etwas mehr als 1. Mehr macht der geringe Anteil an Wasserstoffisotopen mit 1 bzw. 2 Neutronen (also Massenzahl 2 bzw. 3) nicht aus.

Beispiel: Für Atomkraftwerke und Atombomben benötigt man das Isotop Uran-235 (siehe unten: Kernspaltung), also Uran mit 143 Neutronen. Das ist in normalem Uran aber nur zu einem kleinen Teil enthalten, der größte Teil der Atomkerne sind Uran-238 Kerne. Wenn man Atomkraftwerke oder Bomben bauen möchte, erhöht man also in speziellen Anlagen den Anteil an Uran-235, man „reichert das Uran an“. Das ist sehr schwierig, teuer und dauert lange. Wenn ein Staat also Atombomben bauen möchte, muss er sich erst Uran beschaffen, das einen höheren Anteil des Isotops 235 enthält. Das ist glücklicherweise nicht so einfach, sodass im Moment noch nicht so viele Staaten Atomwaffen besitzen.

5 Elementschreibweise

Um die Isotope zu unterscheiden und bei einem Element die Kernladungszahl Z und die Massezahl A direkt anzugeben, schreibt man z.B. das Uran-Isotop mit 143 Neutronen wie nebenstehend. Die 92 steht dabei für die 92 Protonen, die ein Urankern hat und ist eigentlich überflüssig, denn Uran hat ja immer 92 Protonen, sonst wäre es kein Uran. Häufig schreibt man daher auch viel kürzer: U-235.



6 Die atomare Masseneinheit, das u und die Anzahl Teilchen in mol.

Atome sind sehr sehr leicht. Es ist deswegen ungünstig, ihre Masse in kg oder g anzugeben. Deswegen verwendet man eine ganz kleine Masseneinheit, das „u“, die „atomare Masseneinheit“ („atomic mass unit,“ oder „AMU“). Ein u ist (ziemlich genau) die Masse eines Protons bzw. eines Neutrons (da P und N ja praktisch gleich schwer sind). Also:

1 Proton wiegt 1 u (Anmerkung ¹).

Beispiel 1: Der Atomkern von Sauerstoff besteht aus 8 Protonen und 8 Neutronen. Also wiegt er 16 u.

Beispiel 2: Der Atomkern von U-235 besteht aus insgesamt 235 Nukleonen, also wiegt er 235 u.

¹ Ganz genau genommen weicht der Wert etwas ab, aber das spielt meistens keine Rolle.

6.1 Wie viel u ergeben ein Gramm?

Um auf ein Gramm zu kommen, benötigt man ungefähr 602300000000000000000000 u.

Da man Zahlen mit so vielen Nullen nur sehr schlecht schreiben kann, gibt es dafür eine einfachere Schreibweise: Man schreibt im Prinzip einfach die Zahl der Nullen extra hinten dran. Das nennt man die sog. „Exponentialschreibweise“ oder „wissenschaftliche Notation“ oder „Normdarstellung“. Sie ist am Ende im Kapitel „Zehnerpotenzen und Vorsilben“ auf Seite 10 erklärt. Ihr findet sie auch im Mathebuch der Klasse 9. Vor dem Weiterlesen dieses Kapitels sollte man diese Darstellung können.

Kurz geschrieben benötigt man also $6,023 \cdot 10^{23}$ u, um ein Gramm zu erhalten.

Die Zahl $6,023 \cdot 10^{23}$ nennt man „Mol“.

$$1 \text{ Mol} \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ (Stück)}$$

Ein Mol ist also ein Wort für eine (sehr große) Zahl, genauso wie „ein Dutzend“ ein Begriff für die Zahl 12 ist.

Beispiel 1: Wie viel Stück sind 2 Dutzend Eier? Antwort: $2 \cdot 12 = 24$. Zwei Dutzend Eier sind 24 Eier.

Beispiel 2: Wie viel Stück sind 40 Dutzend Kartoffeln? Antwort: $40 \cdot 12 = 480$ Stück. 40 Dutzend Kartoffeln sind 480 Kartoffeln.

Beispiel 3: Wenn ein Chemiker sagt, in einem Gefäß seien 2 Mol Heliumatome, wie viele Atome sind dann darin? Antwort: Es sind darin (ungefähr) $2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ Stück, also $12 \cdot 10^{23}$ Heliumatome (ausgeschrieben 12.000.000.000.000.000.000.000 Atome).

Beispiel 4: Wie man an den Zahlen sieht, besteht der Kern eines $^{12}_6\text{C}$ Atoms aus 6 Protonen und 6 Neutronen. Jedes davon wiegt 1 u. Der Kern wiegt also 12 u. Nimmt man ein Mol von diesen Kernen, so wiegen sie alle zusammen 12 Gramm (Denn ein u ist ja ein „Molstel“ Gramm). Die Massezahl (siehe oben) heißt daher auch „Molmasse“, weil sie angibt, wie viel Gramm ein Mol des Elementes wiegt.

Beispiel 5: Wenn man 4 Mol (also $24 \cdot 10^{23}$ Stück) $^{16}_8\text{O}$ -Atomkerne nimmt, haben die zusammen eine Masse von 64 Gramm, denn ein Kern wiegt ja 16 u, 1 Mol also 16 g, 4 Mol also $4 \cdot 16 = 64$ Gramm.

6.2 Wie viel Gramm ist ein u?

Weil ja $6 \cdot 10^{23}$ u ein Gramm ergeben, ist $1 \text{ u} \approx \frac{1}{6 \cdot 10^{23}} \text{ g}$, das sind $1,6727 \cdot 10^{-24} \text{ g}$

6.3 Physikalische Werte der Kernbestandteile

Teilchen	Masse	Ladung	Durchmesser
Proton	$1,6727 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1 \text{ u}^*$	$+1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ As} = +1 \text{ e}$	ca. $1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Neutron	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1 \text{ u}$	keine Ladung (= neutral)	ca. $1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Elektron	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$-1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ As} = -\text{e}$	$< 1 \cdot 10^{-18} \text{ m}$
H-Atom	$1,6727 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1 \text{ u}$	Neutral, wenn nicht ionisiert	ca. $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

7 Instabile Kerne und Radioaktivität

Nicht alle Atomkerne bleiben auf alle Ewigkeit so, wie sie sind. Manche Atomkerne wandeln sich spontan und zufällig in andere Kerne um. Dabei geben Sie Strahlung ab, sie sind „radioaktiv“. Wann sie sich umwandeln, kann keiner vorhersagen, es wird auch nicht wahrscheinlicher, je länger man wartet, sie tun es zu jeder Zeit mit derselben Wahrscheinlichkeit. Diese Umwandlung eines Atomkerns in einen anderen nennt man „Radioaktiven Zerfall“. Jedes Mal, wenn ein Kern zerfällt, wird ein „Strahlungsteilchen“ abgegeben. Wie viele Strahlungsteilchen pro Sekunde abgegeben werden, nennt man „Aktivität“ des Stoffes. Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) gemessen.

Es gibt im Wesentlichen drei Arten des radioaktiven Zerfalls: α (Alpha), β (Beta) und γ (Gamma) Zerfall. Dabei wird α , β bzw. γ -Strahlung abgegeben.

8 Arten und Eigenschaften von Strahlung: α , β und γ -Strahlung

Alle drei Strahlungen haben gemeinsam, dass sie eine so hohe Energie haben, dass sie anderen Atomen oder Molekülen ihre Elektronen „wegschießen“ können, sie also ionisieren können. Radioaktive Strahlung zählt daher zur „ionisierenden Strahlung“.

Durch das Wegschießen der Elektronen gehen die Moleküle (deren Atome ja durch die Elektronen zusammengehalten werden) kaputt. Besonders schlimm ist das bei dem DNA-Molekül, das ja die Erbinformation von Pflanzen und Tieren trägt. Werden zu viele DNA-Moleküle durch radioaktive Strahlung zerstört, kann das zu Mutationen und Krebs führen. Andererseits sind auch Krebszellen besonders empfindlich auf radioaktive Strahlung weswegen man Krebs durch radioaktive Bestrahlung auch behandeln kann.

8.1 α -Strahlung (Alpha-Strahlung) und Jodtabletten

Beim α -Zerfall gibt der Atomkern ein aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehendes Bruchstück (also einen Heliumkern!!) ab und „schießt“ es mit extrem hoher Geschwindigkeit weg. Dieses α -Teilchen (oder der Heliumkern könnte man auch sagen) ist im Vergleich zu den anderen Strahlungsteilchen (β und γ) sehr groß. Es stößt also wenn es fliegt, schnell gegen andere Atomkerne und wird abgebremst. Die Reichweite von α -Strahlung beträgt also selbst in Luft nur wenige cm, schon ein Blatt Papier schirmt sie praktisch vollständig ab.

Deswegen ist α -Strahlung aber nicht ungefährlich: Wenn radioaktive Atome, die α -Strahlung abgeben, in der Luft als Staub herumschweben oder in Nahrungsmitteln enthalten sind, können sie vom Körper aufgenommen und ins Körpergewebe eingebaut werden. Dann strahlen sie im Körper und können dort Krebs auslösen. Das ist vor allem bei dem radioaktiven Jod-Isotop Jod-131 (also Jod mit 78 Neutronen) der Fall, das in Atomkraftwerken stark vorhanden ist und bei einem Unfall austritt. Leider wird Jod aber auch vom menschlichen Körper stark benötigt (daher gibt es ja Jodsalz). Der Körper kann aber die verschiedenen Jod-Isotope nicht voneinander unterscheiden und nimmt daher, wenn es in Luft oder Nahrung vorhanden ist, auch das radioaktive Jod-131 auf und lagert es in der Schilddrüse ab. Dort strahlt es dann und kann Schilddrüsenkrebs auslösen. Um Personen nach einem Reaktorunfall wenigstens ein wenig zu schützen, gibt man ihnen daher so schnell wie möglich Jodtabletten mit dem stabilen, also nicht zerfallenden und damit also nicht radioaktiven Jod-127 (mit 74 Neutronen!). Dann ist der Körper mit dem „guten“ Jod gesättigt und nimmt praktisch nichts mehr von dem strahlenden Jod-131 auf.

Weil alle geladenen Teilchen von Magnetfeldern in ihrer Bewegung abgelenkt werden, werden auch α -Strahlungsteilchen von einem Magnetfeld abgelenkt. Weil α -Teilchen so schwer sind, allerdings nur ein wenig.

Weil der Kern nach Abgabe des α -Teilchens zwei Protonen und zwei Neutronen weniger enthält, ist es logischerweise der Kern eines anderen Elements (im PS zwei weiter links) geworden). Durch den α -Zerfall wandelt sich also z.B. Plutonium in Uran um.

8.2 β -Strahlung (Beta-Strahlung)

Beim β -Zerfall wandelt sich im Atomkern ein Neutron in ein Proton um. Damit die Ladung wieder ausgeglichen ist, entsteht dabei auch ein Elektron, das aber extrem schnell wegfliegt. Das schnelle Elektron ist die β -Strahlung. Es ist viel kleiner als das α -Teilchen, daher wird es nicht so leicht abgebremst. In Luft kommt β -Strahlung immerhin einige Meter weit, in einem einige Millimeter dicken Aluminiumblech kann man sie aber auch schon abschirmen. Weil sie leichter sind, werden β -Strahlungsteilchen von einem Magnetfeld stärker als α -Teilchen abgelenkt und weil ihre Ladung ja entgegengesetzt ist, findet die Ablenkung auch in die entgegengesetzte Richtung wie beim α -Teilchen statt.

Weil der Kern jetzt ein Proton mehr enthält, ist er genau wie beim α -Zerfall, der Kern eines anderen Elementes geworden, nur „in die andere Richtung“ wie beim α -Zerfall und nur um eine „Stufe“. Aus Sauerstoff wird durch β -Zerfall also Fluor.

Bei einigen wenigen Isotopen wandelt sich ein Proton in ein Neutron um. Dann wird positive Betastrahlung, also β^+ -Strahlung abgegeben. Sie besteht aus „Positronen“ und wird logischerweise im

Magnetfeld entgegengesetzt zur normalen β -Strahlung (die genau genommen β^- -Strahlung heißt) abgelenkt (also in die gleiche Richtung wie α -Strahlung!)

8.3 γ – Strahlung (Gamma-Strahlung)

Beim γ -Zerfall findet im Atomkern keine direkte Umwandlung statt, es wird nur Energie abgegeben, man sagt auch ein „ γ -Photon“ oder „ γ -Quant“ wird abgegeben. Das hat praktisch keine Größe, sodass es in Luft praktisch nicht abgeschirmt wird. Nur mit sehr dickem Blei kann man γ -Strahlung abschwächen. γ -Strahlungsteilchen werden von einem Magnetfeld gar nicht abgelenkt.

8.4 Andere ionisierende Strahlungen

Neben α -, β - und γ -Strahlung gibt es noch andere Strahlungsarten, die ionisieren können und damit gefährlich sind. Die wichtigsten sind **Neutronenstrahlung** und **Röntgenstrahlung**. Sie entstehen allerdings nicht durch radioaktiven Zerfall.

9 Halbwertszeit und Aktivität

Wenn ein radioaktiver Atomkern ein Strahlungsteilchen abgibt, verändert er sich (bei α - und β -Strahlung wird ja sogar der Kern eines anderen Elementes daraus). Man sagt: Der Kern ist „zerfallen“. Wenn man also eine bestimmte Menge, z.B. 1000 radioaktive Kerne nimmt, ist irgendwann die Hälfte zerfallen, es sind also nur noch 500 Kerne da. Wartet man noch einmal die gleiche Zeit, sind nur noch 250 Kerne da, dann 125 usw. Die Zeit, nach der jeweils die Hälfte der Kerne zerfallen ist, heißt Halbwertszeit. Sie ist für jedes radioaktive Element / Isotop anders, bei Plutonium-239 beträgt sie z.B. ca. 24.000 Jahre, bei Jod-131 8 Tage, für Barium-137 wie im Schulversuch 2,6 Minuten. Es gibt auch Isotope mit einer Halbwertszeit von weniger als einer Tausendstel Sekunde. Wie viele Kerne pro Sekunde zerfallen, nennt man die „Aktivität“ und misst sie in „Bequerel“ [Bq]. Eine Aktivität von 30 Bq bedeutet also, dass in dem Gegenstand jede Sekunde 30 Kerne zerfallen. Logisch: Ist schon die Hälfte des Stoffes zerfallen, ist natürlich auch die Aktivität halb so groß, es ist ja nur noch die Hälfte des strahlenden Materials vorhanden!

Beispiel: Hat man 1000 Atome Ba-137, so zerfallen innerhalb der ersten 2,6 Minuten (ca.) 500 davon. Von der 2,6 bis zur 5,2ten Minute zerfällt wiederum ca. die Hälfte der noch vorhandenen Kerne, also ca. 250. Von der 5,2ten bis zur 7,8ten Minute zerfallen dann noch ca. 125 usw.

Und da jeder zerfallende Kern ja ein Strahlungsteilchen abgibt, kann man natürlich auch im Verlaufe der ersten 2,6 Minuten 500 Strahlungsteilchen registrieren, im Verlaufe der nächsten 2,6 Minuten noch 250 usw.

Die Halbwertszeit kann man also bestimmen, indem man die radioaktive Strahlung, die der Stoff abgibt, über einen längeren Zeitraum misst und anhand eines Graphen immer schaut, wann sie sich ca. halbiert.

Beim Reaktorunglück von Fukushima wurden verschiedene radioaktive Substanzen in der Umwelt verteilt, vor allem Cäsium-137, das eine Halbwertszeit von 30 Jahren hat und Jod-131, das eine Halbwertszeit von 8 Tagen besitzt (siehe oben: Jodtabletten). Nach 80 Tagen hat sich also die Radioaktivität, die durch das Jod-131 verursacht wird, zehnmal halbiert, sie ist also auf ein 1024stel gesunken. Die durch das Cäsium-137 verursachte Radioaktivität ist hingegen praktisch unverändert.

9.1 Experimentelle Bestimmung der Halbwertszeit

Die Halbwertszeit eines bestimmten Isotops lässt sich nur durch ein Experiment bestimmen und das auch nicht unendlich genau. Man geht so vor:

- Das zerfallende Isotop wird vor einen Geigerzähler mit angeschlossenem Zählwerk gestellt.
- Alle z.B. 20 Sekunden wird der Zählerstand notiert, insgesamt lange genug, um einen Unterschied in der Messrate (d.h. der „Knacksfrequenz“) im Vgl. zum Anfang zu haben.
- Für jeden Zeitraum, also im Beispiel 0–20 s, 20–40 s, 40–60 s, berechnet man die Differenz aus zwei aufeinander folgenden Zählerständen, das ist ein Maß für die jeweilige Aktivität.
- Den Verlauf der Aktivität zeichnet man als Graphen (x-Achse: Zeit, y-Achse: Aktivität)
- Man zeichnet (von Hand oder mit dem Rechner) eine Kurve, die die Messwerte möglichst gut trifft.

f.) Der Zeitpunkt, an dem die Hälfte der Anfangsaktivität am Zeitpunkt 0 erreicht ist, ist die Halbwertszeit.

Beispiel. Rechne jeden Wert selber nach!

Eine Messung liefere die fett gedruckten Zählerstände:

Zeit [s]	Zählerstand	
20	1050	
40	1907	<i>857</i>
60	2642	<i>735</i>
80	3272	<i>630</i>
100	3812	<i>540</i>
120	4275	<i>463</i>

Die Aktivitäten wurden berechnet und in die rechte Spalte eingetragen. Exponentielle Regression mit dem TR liefert (ungefähr) die Funktion $y1(x) = 1166 \cdot 0,992^x$. Für den Zeitpunkt 0 liefert diese Funktion die Aktivität 1166. Die Hälfte davon sind 583. „solve $y1(x) = 583$ “ liefert die Information, dass bei ca. 102 Sekunden die Aktivität die Hälfte der Anfangsaktivität betrug. Die Halbwertszeit ist also ca. 102 Sekunden.

9.2 Altersbestimmung von Fossilien mithilfe von Radiaktivität: Die C-14 Methode

Wenn Archäologen Fossilien (von Lebewesen, also Dino-Skelette oder Reste von Muscheln, Schnecken oder Bäumen) finden, möchte man natürlich gerne wissen, wie alt diese Fossilien sind. Dafür kann man die Tatsache nutzen, dass alle Lebewesen mit Ihrer Nahrung Kohlenstoff aufnehmen und aus diesen Kohlenstoff-Atome ihre Knochen, Schalen oder Äste produzieren. Wenn sie nun Kohlenstoff aufnehmen, nehmen sie natürlich das Gemisch an Kohlenstoff-Isotopen auf, das in ihrer Umwelt vorliegt. Das ist im Allgemeinen seit Millionen von Jahren konstant und beträgt 98,89 % C-12, 1,11 % C-13 und zusätzlich 0,000.000.000.1% C-14. Es kommt also ca. 1 C-14 Atom auf eine Billion C-13 Atome.

Der Trick besteht darin, dass C-14 mit einer Halbwertszeit von ca. 5730 Jahren radioaktiv ist. Es sendet also radioaktive Strahlung aus, die man messen kann.

Man isoliert also aus dem Fundstück eine ganz genau bestimmte Menge Kohlenstoff, z.B genau 12 Gramm (Das entspricht ziemlich genau 1 mol Kohlenstoffatome). Hat man nun ein Fundstück von einem gerade frisch gestorbenen Lebewesen, so enthalten dies 12 g Kohlenstoff 0,000.000.000.1% von 1 mol, also ca. $6 \cdot 10^{11}$ Atome an C-14 Atomen. Da das C-14 radioaktiv ist, geht von diesen $6 \cdot 10^{11}$ C-14 Atomen eine bestimmte radioaktive Strahlung aus, die man messen kann.

Hat nun aber das Fundstück schon viele Tausend Jahre gelegen, ist schon ein Teil des in ihm enthaltenen C-14 zerfallen. Die Radioaktivität des Fundstückes ist folglich geringer.

Durch Messung der Radioaktivität des Fundstückes kann man also das Alter einer Fossilie bestimmen.

Da die Menge C-14 aber, wie oben gesagt, sehr gering ist, ist diese Methode recht ungenau und funktioniert nur bis zu einem bestimmten Alter der Probe.

10 Gefährdung durch radioaktive Strahlung: Strahlendosen

10.1 Energiedosis

Radioaktive Teilchen sind bekanntermaßen extrem schnell, besitzen also eine hohe Bewegungsenergie. Werden sie von einem Stoff, z.B. dem menschlichen Körper, absorbiert, kann diese Energie natürlich nicht einfach verschwinden, sondern sie wird in das Material, das das Strahlungsteilchen absorbiert hat, also z.B. die Haut oder innere Organe, übertragen (Genauso wie die Energie des Lichts auch in die Haut übertragen wird, es wird einem schließlich warm, wenn man in die Sonne geht).

Es leuchtet ein, dass die radioaktive Strahlung umso mehr Schaden anrichtet, je mehr Strahlungsenergie auf den Körper übertragen wurde. Auch ist klar, dass die gleiche radioaktive Energie bei einem kleinen leichten Organismus mehr Schaden anrichtet als bei einem großen schweren Organismus. Kurz: Es kommt darauf an, wie viel Strahlungsenergie (in Joule gemessen) pro Kilogramm Körpergewicht absorbiert werden. Diese Größe nennt man (radioaktive) Energiedosis D und misst sie in Gray (Gy).

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{aufgenommene radioaktive Energie}}{\text{Körpermasse}} \quad \text{bzw.} \quad D = \frac{E}{m}$$

Die Einheit der Energiedosis ist Gray (Gy): $1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

10.2 Äquivalenzdosis

Nicht jede Strahlung ist gleich schädlich, α -Strahlung richtet wegen seiner großen Kerne ca. zwanzigmal so viel Schaden an wie β -, γ - oder Röntgenstrahlung. Neutronenstrahlung (also schnell fliegende Neutronen) richtet ca. 10-mal so viel Schaden an.

Um die Gefährdung oder Schädigung eines Organismus durch radioaktive Strahlung zu bewerten, multipliziert man die Energiedosis je nach Strahlungsart (α -, β -, γ -, Neutronen oder Röntgenstrahlung) mit einem bestimmten Faktor:

- β -, γ - oder Röntgenstrahlung ist ungefähr gleich schädlich, es wird nicht (bzw. mit 1) multipliziert.
- α -Strahlung richtet wegen seiner großen Kerne ca. zwanzigmal so viel Schaden an, wie β -, γ - oder Röntgenstrahlung, seine Energiedosis wird also mit 20 multipliziert.
- Neutronenstrahlung (also schnell fliegende Neutronen) richtet ca. 10-mal so viel Schaden an, ihre Energiedosis wird also mit 10 multipliziert.

Die Zahl, die bei dieser Rechnung heraus kommt, nennt man Äquivalenzdosis H („Aqui“: Gleich, „valent“: wertig). Die Formel lautet trivialerweise: $H = D \cdot q$. Die Einheit der Äquivalenzdosis ist Sievert (Sv).

Wie viel Sv ein Mensch aufnehmen darf, ist gesetzlich geregelt: Normalbürger dürfen in Deutschland maximal 1 mSv aufnehmen, beruflich mit Strahlung arbeitende Personen maximal 20 mSv. Im Bereich von 1 Sv stirbt man praktisch sicher an der Strahlung.

Beispiel: Eine 50 kg schwere Arzthelferin nimmt beruflich über das Jahr bei Röntgenaufnahmen 0,5 J radioaktive Energie durch Röntgenstrahlung auf. Liegt das noch im zulässigen Bereich?

Lösung: Energiedosis: $D = \frac{0,5 \text{ J}}{50 \text{ kg}} = 0,01 \text{ Gy}$,

Äquivalenzdosis: $H = 0,01 \text{ Gy} \cdot 1 = 0,01 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv} < 20 \text{ mSv}$. Damit liegt die Belastung noch im zulässigen Bereich, da die Arzthelferin beruflich mit Strahlung umgeht.

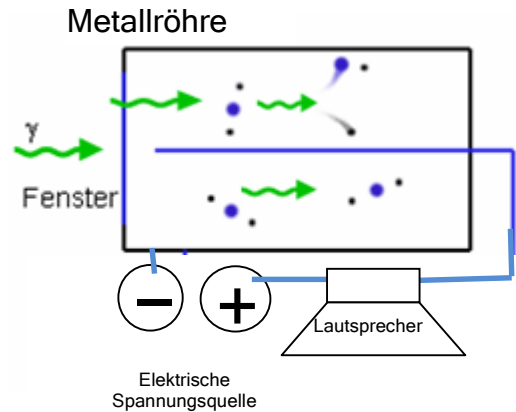
Wichtig: Gegenstände oder Menschen werden nicht dadurch radioaktiv, dass man sie bestrahlt! Lebewesen können höchstens fein in der Luft oder der Nahrung verteilte radioaktive Elemente (z.B. Jod-131 oder Cäsium-137) in sich oder auf ihrer Haut (wie Schmutz) aufnehmen, die dann im Körperinneren oder von der Haut aus strahlen und ggf. Krebs auslösen. Auch können Pflanzen radioaktive Substanzen aufnehmen, die dann, wenn man die Pflanzen isst, in den Körper gelangen.

11 Detektion von Strahlung

11.1 Geiger-Müller-Zählrohr

Radioaktive Strahlung kann man mit dem Körper nicht wahrnehmen. Um radioaktive Strahlung zu messen, verwendet man das Geiger-Müller-Zählrohr.

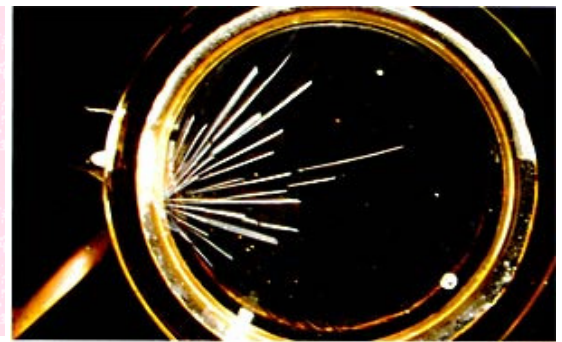
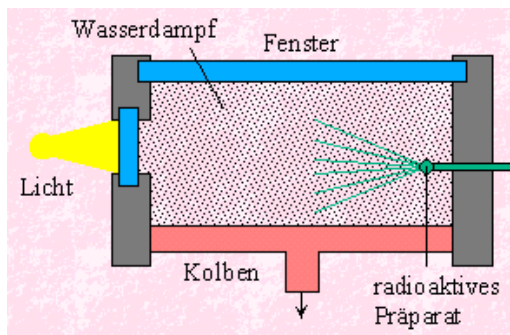
Funktion: In der Röhre ist ein Gas. Durch das für Radioaktivität durchlässige Fenster dringt ein Strahlungsteilchen ein. Es trifft auf ein Gasatom und ionisiert es, sodass das Gasatom in einen positiv geladenen Atomkern und ein negativ geladenes Elektron aufgetrennt wird. Das Elektron wird von dem positiv geladenen Draht in der Mitte angezogen, der positiv geladene Kern von der negativ geladenen Metallröhre. Wenn Elektron bzw. Kern an Draht bzw. Röhre ankommen, übertragen sie ihre Ladung auf diese und ein kleiner elektrischer Stromstoß entsteht. Dadurch hört man das typische Knacken im angeschlossenen Lautsprecher und der Zähler zählt einen Impuls weiter.



Ein Gerät, das ein solches Zählrohr zusammen mit einem Zähler und einem Lautsprecher enthält, nennt man kurz Geigerzähler.

11.2 Nebelkammer

Mit einem Geigerzähler kann man sehr gut große Mengen radioaktiver Strahlungsteilchen (viele hundert pro Sekunde) zählen und so etwas über die Aktivität und



Halbwertszeit radioaktiver Materialien erfahren. Möchte man die Flugbahn einzelner radioaktiver Teilchen beobachten, wählt man eine Nebelkammer.

Funktion: Der Kolben bewegt sich nach außen und sorgt durch den entstehenden Unterdruck dafür, dass sich der Wasserdampf abkühlt und „eigentlich“ kondensieren, also Nebel bilden möchte. Fliegt ein Strahlungsteilchen durch diesen unterkühlten Wasserdampf, so erzeugt es auf seinem Weg durch Stoß an den Wasserteilchen Ionen. An diesen Ionen

kondensiert der Wasserdampf und bildet wie ein Düsenflugzeug am Himmel eine Art „Kondensstreifen“, sodass man die Flugbahn des radioaktiven Teilchens durch das Fenster im Licht aufleuchten sehen kann. Hält man einen starken Magneten neben die Nebelkammer, kann man auf diese Weise α -, β (und auch die seltene) β^+ -Strahlung anhand ihrer Bahnen (stark oder schwach gekrümmt) voneinander unterscheiden. γ -Strahlung erzeugt in der Nebelkammer fast keine Spuren, weil sie ungeladen und so klein ist, dass sie kaum mit Wassermolekülen kollidiert.

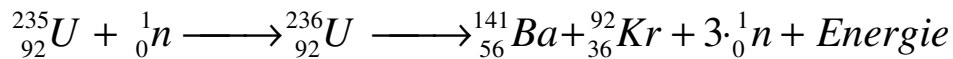
12 Kernspaltung

Manche Isotope der der ganz großen und schweren Kerne ganz unten im Periodensystem wie z.B. Uran-235 lassen sich spalten. Man schießt dazu ein sehr schnelles Neutron auf den Kern.

Bei Uran-235 findet der Vorgang wie folgt statt: Der Uran-235 Atomkern nimmt das in ihn „hineingeschossene“ Neutron auf, es bildet sich ein Kern des Uran-Isotops Uran-236. Der ist aber nicht stabil, er zerfällt praktisch sofort (zu Barium-141 und Krypton-92), sowie drei Neutronen. Diese sind dann ihrerseits in der Lage wieder einen noch ungespaltenen Kern U-235 zu spalten sodass die berühmte „Kettenreaktion“ stattfindet, bis kein U-235 mehr vorhanden ist. Bei jeder Spaltung wird – und das ist der Grund, warum man das macht – sehr viel Energie frei. Diese Energie kann man z.B. verwenden, um damit Wasserdampf zu erzeugen, damit eine Turbine anzutreiben und über einen Generator elektrische

Energie zu erzeugen (Atomkraftwerk). Man benötigt im Vergleich zur Verbrennung von Kohle extrem wenig Uran zur Erzeugung der gleichen Energiemenge, das Problem ist jedoch, dass die Stoffe, die bei der Spaltung entstehen (der „Atommüll“) selber auch radioaktiv und damit für die Natur gefährlich sind.

Den Vorgang der Spaltung von U-235 stellt man i.A. so dar (n ist das Neutron):



Zur Kontrolle prüft man durch Addition, ob die Zahlen oben (Massenzahlen) und unten (Protonenzahlen) jeweils zusammenpassen.

Außer Uran-235 lassen sich auch andere Atomkerne spalten, z.B. Plutonium-239.

Man kann nicht nur große schwere Kerne spalten, sondern auch kleine leichte Kerne zu einem neuen schwereren verschmelzen („fusionieren“). Auch dabei wird sehr viel Energie frei (Die gesamte Energie der Sonne entsteht z.B. auf diese Weise). Es ist allerdings bis heute noch nicht gelungen, Kernfusion auf der Erde technisch so durchzuführen, dass man damit wesentlich Energie erzeugen kann.

13 Nuklidkarte (Isotopenkarte)

Auf dem Periodensystem werden die einzelnen Isotope eines Elementes nicht getrennt eingetragen, das würde zu viel Platz einnehmen. Für einzelne, vor allem radioaktive Elemente gibt es dennoch eine solche Karte, man nennt sie Nuklidkarte (selten auch Isotopenkarte). Ein Ausschnitt ist hinten im Physikbuch.

Nebeneinander stehen dort die Isotope eines Elementes, also die verschiedenen Neutronenzahlen. Untereinander stehen die verschiedenen Elemente, also die Protonenzahlen. Die Farbe gibt an, auf welche Art ein Kern eines solchen Elementes zerfällt, die Zahl gibt die Halbwertszeit an.

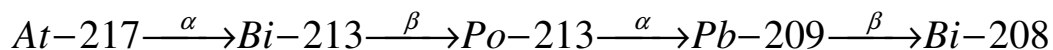
Da sich die Kerne durch den Zerfall ja umwandeln, „springt“ ein Kern durch den Zerfall in der Nuklidkarte je nach Zerfallsart:

- α -Zerfall (2 P und 2 N werden abgegeben): 2 nach unten und 2 nach links
- β -Zerfall (1 N wird zu einem P): 1 nach oben und 1 nach links

Beispiel Aluminium-29: Hat man 100 Kerne Al-29, so sind nach (ca.) 6,6 Minuten 50 davon zu Si-29 zerfallen, das dann stabil ist, also nicht mehr zerfällt. Nach weiteren 6,6 Minuten sind von den verbleibenden ca. 50 Kernen Al-29 wiederum ca. die Hälfte, also ca. 25 Stück zu Si-29 zerfallen, usw.

Manchmal ergeben sich auch richtige Zerfallsketten.

Beispiel Astat-217: Es wandelt sich über vier Zerfälle schließlich bis zum stabilen Wismut-208 um:



14 Anhang

14.1 Zehnerpotenzen und Vorsilben

In vielen Naturwissenschaften hat man es häufig mit extrem großen oder kleinen Zahlen zu tun (Durchmesser eines Atoms, Anzahl Atome in einem Gefäß, Entfernung von Sternen, Anzahl Bakterien in einer Kultur, Anzahl Zellen in einem Organ usw.). Solche Zahlen lassen sich nur sehr umständlich mit den ganzen Nullen schreiben, die man eigentlich brauchen würde. Auch versieht man sich sehr leicht beim Eintippen und macht schnell Fehler. Um das zu vermeiden, verwendet man die sogenannten „Zehnerexponenten“:

Das heißt, man schreibt statt 65.000.000.000.000 einfach und kurz: $65 \cdot 10^{12}$ (denn 10^{12} ist ja 1.000.000.000.000, also eine Eins mit zwölf Nullen).

Statt 2.600.000.000.000.000 schreibt man $2,6 \cdot 10^{15}$.

Ihr kennt das eigentlich auch schon: Niemand sagt, er sei im Urlaub „1,8 Millionen Meter“ gefahren, sondern sagt natürlich „1800 Kilometer“. Das „Kilo“ vor dem Meter ist die Abkürzung für den Zehnerexponenten 10^3 , also 1000. Für den Zehnerexponenten 10^6 gibt es die Abkürzung „Mega“, für 10^9 „Giga“ usw.

Mit Zehnerexponenten kann man auch viel leichter rechnen: Die Zahlen werden multipliziert, die Zehnerexponenten addiert:

Die Rechnung „30000000000000000000 · 400000000000000000000000“ kann man wohl kaum ohne Fehler lesen, geschweige denn lösen...

Die selbe Rechnung, nur mit Zehnerexponenten geschrieben lässt sich einfach rechnen: $3 \cdot 10^{18} \cdot 4 \cdot 10^{23} = 3 \cdot 4 \cdot 10^{18} \cdot 10^{23} = 12 \cdot 10^{(18+23)}$. Also lautet die Lösung: $12 \cdot 10^{41}$.

Beim Teilen zieht man die Zehnerexponenten einfach voneinander ab: $12 \cdot 10^{18} : 2 \cdot 10^{15} = 6 \cdot 10^3$, also schlicht 6000.

Das Ganze geht auch mit sehr kleinen Zahlen: Der Zehnerexponent gibt an, um wie viele Stellen das Komma verschoben wurde: Statt 0,000.000.000.000.028 schreibt man $28 \cdot 10^{-15}$.

Multiplizieren und Dividieren von extrem großen und kleinen Zahlen klappt so ganz einfach. Rechne zur Übung die folgenden Beispiele nach:

$$\frac{12 \cdot 10^{20}}{4 \cdot 10^{12}} = 3 \cdot 10^8 \quad \frac{12 \cdot 10^{20}}{4 \cdot 10^{-12}} = 3 \cdot 10^{32} \quad \frac{12 \cdot 10^{-20}}{4 \cdot 10^{-12}} = 3 \cdot 10^{-8}$$

$$\frac{120 \cdot 10^9 \cdot 80 \cdot 10^5}{4 \cdot 10^{12}} = 2400 \cdot 10^2 = 2,4 \cdot 10^5$$

Zehnerexponent	Vorsilbe	Abkürzung
$\cdot 10^{12}$	Tera	T (großes T)
$\cdot 10^9$	Giga	G (großes G)
$\cdot 10^6$	Mega	M (großes M)
$\cdot 10^3$	Kilo	k (kleines k)
$\cdot 10^0 = \cdot 1$	--	--
$\cdot 10^{-3}$	Milli	m (kleines m)
$\cdot 10^{-6}$	Mikro	μ (kl. griechisches „mü“)
$\cdot 10^{-9}$	Nano	n (kleines n)
$\cdot 10^{-12}$	Piko	p (kleines p)

14.2 Aufgaben zum Selbsttest

- Wenn ein Nukleon vorliegt, ist es entweder ein... oder ein...
- Wie viel Platz benötigen 20 Millionen Wasserstoffatome nebeneinander? Schreibe einmal als normale Zahl, einmal mit Vorsilbe und einmal mit Zehnerexponent.
- Wie viel Platz benötigen die Protonen von 0,1 g Kohlenstoff nebeneinander? Schreibe in einer vernünftigen Einheit, sodass man sich das Ergebnis zumindest ungefähr vorstellen kann.
- Der Millionste Teil eines Meters ist ein...
- Schreibe 6.000.000.000.000.000 Gramm in Zehnerexponentenschreibweise.
- Berechne $(4 \cdot 10^5) \cdot (2 \cdot 10^3)$ ohne Taschenrechner.
- Berechne $(4 \cdot 10^5) + (2 \cdot 10^3)$ ohne Taschenrechner.
- Gib in einer geeigneten Einheit an: Wie viel wiegen 20 Stück U-235 Atome?
- Gib in einer geeigneten Einheit an: Wie viel wiegen 5 Mol C-14 Atome?
- Wie viele Elektronen enthält ein zweifach positiv geladenes Schwefelatom?
- Wie viel Gramm wiegen 10^{27} Protonen?

- l.) Wie viele Protonen, Neutronen und Elektronen enthält ein Kohlenstoffatom? Wo befinden sich die Protonen, Neutronen und Elektronen?
- m.) Wie beeinflusst die Anzahl der Neutronen im Atomkern die chemischen Eigenschaften des Atoms?
- n.) Atome mit verschiedener Protonenzahl gehören zu verschiedenen...
- o.) Atome mit gleicher Protonenzahl, aber verschiedener Neutronenzahl sind verschiedene...
- p.) Gib die Ordnungszahl von Neon an. Wie heißt das Element mit der Ordnungszahl 7 (Deutsch, englisch und Elementsymbol)? Wie viele Protonen hat der Atomkern des Elements mit der Ordnungszahl 47? Wie heißt das Element, dessen Atomkern 79 Protonen enthält (Deutsch, Lateinisch, Symbol)?
- q.) Wie viele Elektronen passen nebeneinander in ein Proton?
- r.) Wie schwer ist 1 Liter Wasser in u?
- s.) Wie viel u wiegen 3 Mol Bor-11-Atome?
- t.) Wie viel g wiegen 3 Mol Bor-11-Atome?
- u.) Die chemische Formel von Wasser ist H_2O , ein Wassermolekül besteht also aus der Verbindung von zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Wie viel u wiegt ein also ein Wassermolekül (H_2O)?
- v.) Wie viel Moleküle sind in 1 kg Wasser enthalten (In Stück und in Mol)?
- w.) Das Fantasieelement „Spezialium“ habe 150 Protonen. Wie groß dürfte ungefähr seine Massenzahl sein?
- x.) Chlor ist im Periodensystem mit einer Massenzahl von 35,45 angegeben. Eine Mischung welcher Isotope könnte da vorliegen?
- y.) Schreibe das Kohlenstoff-14 Isotop in der Darstellung mit den beiden kleinen Zahlen links oben und unten neben dem Symbol.
- z.) Zur Nukleartechnologie zählt...
- aa.) Was würde aus Beryllium, wenn es „ β -zerfallen“ würde, was bei einem α Zerfall?
- bb.) Was findet bei der „Anreicherung“ von Uran statt (max. 20 Worte)?
- cc.) Warum gibt man Menschen nach einem Atomunfall Jodtabletten (max. 30 Worte)?
- dd.) Was passiert im Inneren eines Geiger-Müller-Zählrohrs (max. 50 Worte)?
- ee.) Man misst die Strahlung eines unbekanntes Elementes. Am Anfang misst man 200 Zerfälle pro Sekunde (200 Becquerel). Nach einer halben Stunde sind es noch 100 Zerfälle pro Sekunde. Wie viele Zerfälle pro Sekunde erwartest Du nach 2 Stunden? Wann wird das Element keine Aktivität mehr haben?
- ff.) Welche Strahlungen können ionisieren?
- gg.) Welche Äquivalenzdosis nimmt ein 50 kg schwerer Arbeiter auf, der eine radioaktive Energie von 10 J α -Strahlung abbekommen hat? Wie hoch wäre die Dosis bei β -Strahlung?
- hh.) Wie viel radioaktive Energie hat ein 80 kg schwerer Arbeiter aufgenommen, der eine Energiedosis von 10 mSv α -Strahlung aufgenommen hat?
- ii.) Warum kann bei der Spaltung von Uran-235 eine Kettenreaktion entstehen (max. 40 Worte)?
- jj.) Warum kann radioaktive Strahlung Krebs erzeugen (max. 30 Worte)?
- kk.) Warum kann man mit radioaktiver Strahlung Krebs bekämpfen (max. 40 Worte)?
- ll.) Wie kann man in der Nebelkammer α - und β -Strahlung voneinander unterscheiden?
- mm.) Berechne die Ladung Q der Elektronen von 5 g Helium

nn.) Wie lang sind 30.000 Milliarden Wasserstoffatome nebeneinander gelegt?

oo.) Berechne die Masse von $4 \cdot 10^{30}$ Stickstoffatomen in kg und in Tonnen.

Lösungen:

a.) Proton oder Neutron b.) $0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ c.) Es sind $(0,1 \text{ g} : 12 \text{ u}) \cdot 5 \cdot 10^{21}$ Atome, die enthalten pro Stück 6 Protonen also $3 \cdot 10^{22}$ Protonen, die benötigen nebeneinander $3 \cdot 10^7 \text{ m}$, also 30.000 Kilometer. d.) $1 \mu\text{m}$ e.) $6 \cdot 10^{15} \text{ g}$ f.) $8 \cdot 10^8 \text{ g}$ g.) 402000 h.) 4700 u i.) 70 g j.) 14 k.) ca. 1670 g l.) C-12: 6P + 6N im Kern, dazu 6 Elektronen in der Hülle m.) Gar nicht. n.) Elementen. o.) Isotope p.) 10; Stickstoff, Nitrogene, N; 47; Gold Aurum Au q.) Mehr als 1000 r.) $6 \cdot 10^{26} \text{ u}$ s.) $3 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 11 = 198 \cdot 10^{23} \text{ u}$ t.) $3 \cdot 11 = 33 \text{ g u.}$ $2 \cdot 1 \text{ u} + 1 \cdot 16 \text{ u} = 18 \text{ u}$ v.) $1 \text{ kg} / 18 \text{ u} = 3,3 \cdot 10^{25}$ Stück = 55 mol w.) ca. 400 x.) Cl-35 und Cl-36 y.) ${}^{14}_6\text{C}$ z.) Bau von Kernkraftwerken, Bau von Nuklearwaffen (Atom, Wasserstoffbomben) medizinische Anwendungen aa.) Bor, He bb.) Der Anteil eines des Isotops u-235 wird erhöht. cc.) Damit sie mit Jod gesättigt sind und kein radioaktives Jodisotop aufnehmen. dd.) Die Strahlung ionisiert die Gasatome und die werden durch das elektrische Feld zum Draht bzw. zum Metallrohr hin beschleunigt. ee.) ca. 12 oder 13; nach ca. 4 Stunden ff.) α , β , γ , Röntgen und Neutronenstrahlung gg.) 4 Sv hh.) 0,8 ii.) Weil bei der Spaltung eines Kerns drei Neutronen entstehen, die jeder wieder einen Kern spalten können. jj.) Weil sie ionisieren kann und damit die DNA zerstören kann. kk.) Weil Krebszellen besonders empfindlich auf radioaktive Strahlung sind. ll.) β^- - Strahlung erzeugt stark gekrümmte, α -Strahlung fast gar nicht gekrümmte Spuren (und in die andere Richtung). mm.) $Z = 2$, $A = 4 \rightarrow 1,25 \text{ mol} \approx 7,5 \cdot 10^{23}$ Atome $\rightarrow 15 \cdot 10^{23}$ Elektronen $\rightarrow Q = 192.000 \text{ As} \approx 192 \text{ kAs}$ nn.) $3 \cdot 10^{13}$ Atome $\rightarrow 3 \text{ km}$ oo.) $56 \cdot 10^{30} \text{ u} = 9,3 \cdot 10^7 \text{ g} = 9,3 \cdot 10^4 \text{ kg} \approx 93 \text{ t}$