1. Bei dieser Kernfusion werden 3,28 MeV frei.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a1)

2. [vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a2)  
  
3.

|  |  |
| --- | --- |
| Halbwertszeit | 0,7 min |


4. a) Beschreibung: Bei der Bestrahlung von Rhodium mit thermischen Neutronen entsteht das instabile Rhodiumisotop Rh-104, das durch Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos in das Palladiumisotop Pd-104 übergeht.  
b) Nachweis durch Absorptionsmessung oder Ablenkung im elektrischen Feld.  
c)

|  |  |
| --- | --- |
| Energie | 8,96 MeV |

5. a)  
1. He-4 + N-7 > Proton + He-4 + C-13  
2. He-4 + N-7 > F-18 > Proton + O-17  
b) Nach 1 müssten drei Spuren nach dem Zusammenstoß zu sehen sein. Es sind aber nur eine dünne, vom Proton herrührend, und eine dicke, kurze, vom Sauerstoff herrührend, da.  
c) Es muss die Gesamtenergie betrachtet werden. Bei hohen Geschwindigkeiten ist die kinetische Energie allein keine Erhaltungsgröße. Man muss zusätzlich zu den kinetischen Energien die Energien der Nuklidmasssen berücksichtigen (m\*c²). Dabei ergibt sich ein Massendefekt, der in Form der überschüssigen Energie wieder auftritt.  
d) Die Energie des Alpha-Teilchens muss größer 1,2 MeV sein.  
e) Es ist die Massenbilanz der Ausgangs- und Endprodukte aufzustellen. Der Massendefekt beträgt 8,11 MeV. Das Alpha-Teilchen bringt nur 4 MeV mit, kann also die Kernumwandlung nicht herbeiführen.

6. **a)** Thorium-226 hat die größere Halbwertzeit, damit also die geringere Aktivität.

**b)** [Tabelle und Diagramm](at6.xls)  
**c)** Wie aus den Berechneten Werten zu erkennen ist, sind nach 64 min rund 64 mal so viel Th-226-Kerne vorhanden wie Th-225-Kerne.

|  |  |
| --- | --- |
| Verhältnis | 1:64 |

**d)**

Die Aktivität der Th-226-Substanz ist zu Beginn trotz gleicher Anzahl von Teilchen nur ein Viertel der Aktivität der Th-225-Kerne. Die Th-226-Kerne haben ja eine vier mal so große Halbwertszeit. Nach 64 min sind die Th-225-Kerne fast alle weg, die Aktivität damit ziemlich klein. Bei Th-226 sind noch 64 mal soviel Kerne vorhanden und damit die Aktivität jetzt sechzehn mal so groß wie bei Th-225.

|  |  |
| --- | --- |
| Verhältnis | 1:16 |

7. 

|  |  |
| --- | --- |
| Zerfallskonstante | 0,037 min-1 |

8.

a) 

Aus dem Tritiumkern werden ein Elektron und ein Neutrino ausgestoßen. Übrig bleibt ein Heliumkern.  
Das Elektron entsteht durch den Zerfall eines Neutrons:  


Die beim Zerfall des Neutrons entstehende Energie ist immer gleich groß. Da die Elektronen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, also Energie, aus dem Kern fliegen, nimmt das Neutrino die Differenz zur Gesamtenergie auf.

b) Seit dem Einfüllen des Wassers ist etwa ein halbes Jahr vergangen.

[vollstän](vlsgatom.docx" \l "a8)[dige Lösung](vlsgatom.docx" \l "a8)

9.

|  |  |
| --- | --- |
| Röntgenstrahlung entsteht, wenn stark beschleunigte Elektronen abgebremst werden (z.B. in der Anode). Dabei können sie ihre gesamte Energie mit einem Mal verlieren, es entsteht die Strahlung mit der größten Energie, kleinsten Wellenlänge.  Die Elektronen können aber auch die Energie portionsweise verlieren. Dabei entstehen eine Reihe von Quanten mit kleineren Energien, also größeren Wellenlängen. Es ergibt sich ein kontinuierliches Spektrum mit einer Grenzfrequenz an der Seite der kurzen Wellenlängen. Elektronen der K-Schale werden herausgeschlagen, andere Elektronen fallen an diese Stelle und erzeugen ein Linienspektrum. |  |

10. a) An Elektronen gestreutes Röntgenlicht erfährt eine Vergrößerung der Wellenlänge und damit einen Energieverlust. Die Differenz der Energie wird auf die Elektronen übertragen, die ihre kinetische Energie erhöhen. Dieser Vorgang lässt sich mit einem elastischen Stoß zwischen Teilchen erklären und bestätigt die Theorie der Lichtquanten.  
b)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: |  |
| Lösung: | 1. Wie groß ist die ursprüngliche Energie des Strahlungsquants?  Die Energie des durch den Stoß wegfliegenden Elektrons beträgt  Damit ergibt sich eine Energiedifferenz von  . Das ist die Energie, die das Strahlungsquant nach dem Stoß noch hat. Da jeder Energie eine Wellenlänge entspricht, kann man dem Quant jetzt eine neue Wellenlänge berechnen:  Der Winkel, unter dem das Quant davonfliegt berechnet sich mit dem Gesetz zum Compton-Effekt:  Die Wellenlängenänderung ist:  Damit wird ein Winkel von 79,6° berechnet. | | |

11. Bragg-Reflexion  
  
12.

|  |  |
| --- | --- |
| Masse | 0,18 g |

13. Abstand: radioaktive Strahlung wird von der Luft absorbiert  
kurzzeitig: je länger, umso mehr Zellen werden geschädigt  
  
14. Energiedosis: ist ein Maß für die absorbierte Strahlungsenergie, Einheit 1Gray (1 Gy) = 1J/kg  
Äquivalentdosis: Maß für die absorbierte Strahlungsenergie unter Berücksichtigung der biologischen Wirkung. Gleich Energiedosen verschiedener Strahlungsarten können unterschiedliche Wirkungen hervorrufen.   
Einheit 1 Sievert (1 Sv) = 1 J/kg  
Äquivalentdosis = Energiedosis \* Qualitätsfaktor

|  |  |
| --- | --- |
| Art der Strahlung | Faktor |
| Röntgen- und Gamma-Strahlung | 1 |
| Elektronen- und Beta-Strahlung | 1 |
| Alpha-Strahlung | 20 |
| schnelle Neutronen und Protonen | 10 |

15. Beta-Zerfall: im Kern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um und gibt ein Elektron ab. Dieses hat ganz unterschiedliche Energie, je doch nie mehr als ein bestimmter Maximalwert , das Atom verliert aber immer die gleiche Menge Energie, das Neutrino trägt diese Energiedifferenz aus dem Kern heraus.  
  
16. Ein Reaktor besteht aus folgenden Teilen:  
Spaltmaterial, Moderator, Reflektor, Steuerung, Energietransport.  
Die Teile sind in den verschiedenen Reaktortypen unterschiedlich ausgelegt, erfüllen aber immer den gleichen Zweck.  
Spaltmaterial: natürliches U-235. Diese Atomkerne lassen sich durch langsame Neutronen spalten und geben dabei selbst wieder Neutronen ab. Bei der Spaltung wird Energie frei.

Moderator: Die Neutronen, die bei den Spaltungen entstehen, sind zu schnell. Sie haben für die Spaltung weiterer Kerne einen zu kleinen Wirkungsquerschnitt und können eventuell eingefangen werden. Deshalb müssen die Neutronen in möglichst wenigen Stößen abgebremst werden. Dazu eignet sich Wasser (leichtes oder schweres) oder Graphit.

Reflektor: Der Reaktorkern wird mit einem Reflektor umgeben, der die Neutronen, die den Kern verlassen wollen, wieder zurück reflektiert. Dadurch wird die kritische Masse des Spaltmaterials stark verringert.  
  
Steuerung: Die Kernspaltung wird durch Materialien gesteuert, die Neutronen absorbieren. Dieses Material ist in Form von Stäben im Reaktor, die mehr oder weniger tief zwischen die Brennstäbe gefahren werden.  
  
Energietransport: Die meiste der bei der Spaltung frei werdenden Energie liegt in Form von kinetischer Energie der Spaltprodukte vor. Diese werden im Reaktorkern und im Moderator abgebremst. Die dabei entstehende thermische Energie wird durch Wasser, Wasserdampf, flüssiges Natrium oder Helium abgeleitet.  
  
17. Das sind Atomkerne, die ohne äußeren Einfluss unter Aussendung von radioaktiver Strahlung zufallen.   
  
18. Silber, 47 Protonen, 107 Nukleonen -> 107 - 47 = 60 Neutronen,   
anderes Isotop: statt 107 steht 109  
Isotop: Kerne, die zum gleichen Element gehören (gleiche Protonenanzahl), aber unterschiedliche Neutronenanzahl besitzen  
  
19. Silber-108 zerfällt unter Aussendung eines Elektrons und eines Neutrinos zu Cadmium-108. Das Elektron entsteht im Kern bei Zerfall eines Neutrons zu einem Proton und einem Elektron. Das Proton bleibt im Kern.

20.

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | Mehr als 19,9 min |

21. ist in jedem Physik-Lehrbuch erklärt.  
  
22. 192 Impulse in 3 Minuten => 1920 Impulse in 30 Minuten  
Nullrate 180 Impulse in 10 Minuten => 540 Impulse in 30 Minuten  
=> 1380 Impulse in 30 Minuten

|  |  |
| --- | --- |
| Zählrate | 46 Impulse pro Minute |

23.

|  |  |
| --- | --- |
| Strecke | d/2 |

24. Gamma-Strahlung hat u.a. zwei Eigenschaften: Sie lässt sich durch magnetische und elektrische Felder nicht ablenken und sie hat ein starkes Durchdringungsvermögen.  
Man hält ein 5 mm dickes Alu-Blech vor das Zählrohr. Sinkt die Zählrate nicht merklich, handelt es sich um Gamma-Strahlung.  
Man kann die Strahlung durch ein elektrisches oder magnetisches Feld schicken. Wird sie nach Einschalten des Feldes an der gleichen Stelle registriert wie vor dem Einschalten, ist es Gamma-Strahlung.  
  
25. U-238 -> Th-234 -> Pa-234 -> U-234 -> Th-230 -> Ra-226  
  
26.

|  |  |
| --- | --- |
| zerfallen | 93,75% |

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a26)  
27.

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | 38 s |

28.

|  |  |
| --- | --- |
| Nuklid | N-14 |

29. Die zur Spaltung notwendigen Neutronen würden bei einem kleineren Volumen durch die Oberfläche austreten und für weitere Spaltungen nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Kettenreaktion stirbt ab.  
  
30. Im Leichtwasserreaktor werden die Neutronen durch das Wasser abgebremst. Im Störfall verdampft das Wasser und die Kettenreaktion kommt sofort zum Erliegen.  
  
31.

|  |  |
| --- | --- |
| Kern | Strontium-90 |

32.

|  |  |
| --- | --- |
| Kern | Bismut-218 |

33.

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | 414 Tage |

34.

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | 7 Halbwertszeiten |
| Zeit | 10 Halbwertszeiten |

35. a) Be-9 + He-4 -> C\*-13 -> C-12 + Neutron  
Durch Beschuss von Beryllium mit Alphateilchen entsteht das angeregte Kohlenstoffisotop C-13, das unter Aussendung eines Neutrons in das Isotop C-12 übergeht.  
b) Es liegt eine Austauschreaktion vor: Ein Teilchen dringt in den Kern ein, ein davon verschiedenes wird ausgesandt.  
  
36. U-235 + n -> U\*-236 -> Kr-89 + Ba-144 + 3 n  
  
37.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: | v |
| Lösung: |  | | |
| Antwort: | Die thermischen Neutronen haben eine Geschwindigkeit von 4380 m/s. | | |

38. Natürliches Uran besteht zu 0,7% aus spaltbaren U-235 und zu 99,3% aus dem nicht spaltbaren U-238. Nur bei einem Neutroneneinfang durch ein U-235 entstehen die für die Kettenreaktion notwendigen Sekundärneutronen. Dass das U-238 in einigen Energiebereichen oberhalb 6,7 eV besonders hohe Wirkungsquerschnitte für Neutroneneinfang hat und diese Neutronen für den weiteren Prozess verloren sind, müssen die Neutronen auf Energien unter 6,7 eV abgebremst werden.  
Die Anforderungen an einen guten Moderator sind:  
1. Er muss einen möglichst großen Streuquerschnitt haben, da die Abbremsung der Neutronen durch Streuung, d.h. durch elastische Stöße an den Atomkernen erfolgt.  
2. Er muss einen möglichst geringen Einfangquerschnitt haben, damit sich die Neutronenverluste in Grenzen halten.   
3. Die Kerne der Moderatoratome sollten eine möglichst kleine Massenzahl haben, da dann die Energieübertragung zwischen Neutron und Moderator am besten ist.  
  
39. a)   
 b) 

40. Beta-Zerfall: im Kern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um und gibt ein Elektron ab. Dieses hat ganz unterschiedliche Energie, je doch nie mehr als ein bestimmter Maximalwert , das Atom verliert aber immer die gleiche Menge Energie, das Neutrino trägt diese Energiedifferenz aus dem Kern heraus.  
  
41. Kerne zerfallen nach statistischen Gesetzen. Von einer großen Menge radioaktiver Teilchen zerfällt in einer bestimmten Zeit (Halbwertszeit) die Hälfte aller Teilchen. Bei einer geringen Menge ist es nicht möglich, die Anzahl der zerfallenden Kerne anzugeben. „Kerne altern nicht“ Bei einem Teilchen ist es völlig unmöglich anzugeben, ob es in der nächsten Sekunde zerfällt oder noch Milliarden Jahre bestehen bleibt.  
  
42. Versuche zur Ablenkung der Strahlung im Magnetfeld zeigt die Ladung. Absorptions- und Reichweitenmessungen zeigt die Art der Strahlung.  
Alpha- und Beta-Stahlung lassen sich im Magnetfeld ablenken, Gammastrahlung nicht.  
Alpha-Strahlung hat eine sehr geringe Reichweite und wird bereits von Papier absorbiert.  
  
43. Form der künstlichen Radioaktivität: ein relativer Überschuss an Protonen im Kern kann durch Einfang eines Elektrons aus der Hülle des Atoms beseitigt werden. Dadurch wird ein Proton in ein Neutron umgewandelt und ein Neutrino emittiert. Das Elektron stammt aus der K- oder L-Schale. Die Lücke wird durch Elektronen aus den äußeren Schalen aufgefüllt. Dabei entsteht Röntgenstrahlung.  
  
44. Gemeinsamkeiten: Kernbausteine, fast gleiche Masse, können sich ineinander umwandeln  
Unterschiede: Proton ist positiv geladen, Neutron neutral   
  
45. Spontanzerfall: Atomkerne zerfallen unter Aussendung von Strahlung ohne äußeren Einfluss  
künstliche Kernumwandlung: stabile Kerne werden durch den Beschuss mit geeigneten Teilchen in instabile Kerne umgewandelt und zerfallen dann.  
  
46.

|  |  |
| --- | --- |
| E je Nukleon | 8,5889 MeV |

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a46)  
47. Halbwertszeit: Zeit, in der die Hälfte einer großen Menge von radioaktiven Teilchen zerfallen ist. Grafische Darstellung: x-Achse=Zeit, y-Achse=Menge in %. Zeit = 0 Menge = 100%, 37 Jahre Menge =50%, 74 Jahre Menge = 25%, 111 Jahre Menge = 12,5%...  
  
48.   


49.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | A |
| b) | C |
| c) | C |
| d) | B |
| e) | A |

50.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | f |
| b) | w |
| c) | w |
| d) | f |
| e) | f |
| f) | f |
| g) | w |
| h) | w |

51. Es sind noch 13 Kerne vorhanden.  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a51)

52. A=k\*N0 , A=N/t

|  |  |
| --- | --- |
| Aktivität | 37\*106 Bq |
| Anzahl | 33\*109 Kerne |

keine Änderung der Aktivität

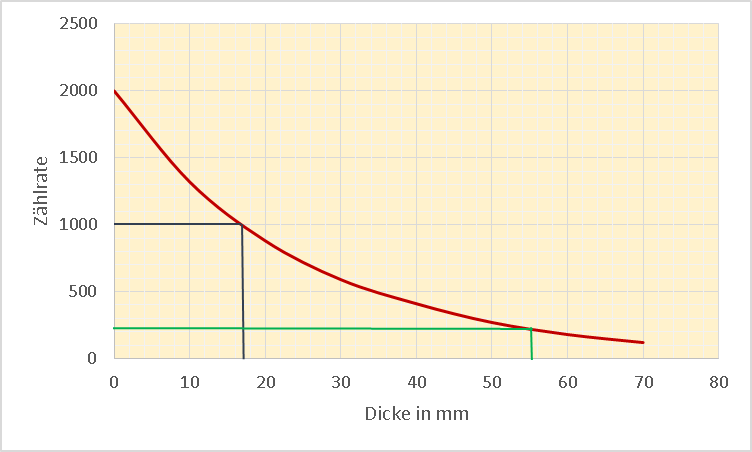
53.  
 

|  |  |
| --- | --- |
| Massendefekt | 3,711\*10-28kg |
| Energie | 3,33\*10-11 J = 208 MeV |

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a53)

54. Alpha-Teilchen: Heliumkerne, gleiche Reichweite von wenigen Zentimetern, leicht zu absorbieren, im Magnetfeld ablenkbar, da positiv geladen,   
Massenzahl: verringert sich um 4, Kernladungszahl: verringert sich um 2  
Beta-Minus-Teilchen: Elektronen, unterschiedliche Reichweite, da unterschiedliche Energie, 100 mal stärkere Durchdringungsfähigkeit im Vergleich zu Alpha-Teilchen, im Magnetfeld ablenkbar, da negativ geladen  
Massenzahl: bleibt gleich, Kernladungszahl: vergrößert sich um 1

Beta-Plus-Teilchen: Positronen, wie Beta-Minus-Teilchen, nur entgegen gesetzte Ladung  
  
55. Alpha-Strahlung tritt bei den beiden Zerfällen Uran -> Thorium auf.  
  
56. Versuch: die radioaktive Strahlung muss senkrecht zu den Feldlinien durch ein Magnetfeld fliegen. Alpha wird nach der einen Seite, Beta-Minus nach der anderen Seite und Gamma gar nicht abgelenkt.  
  
57. Bei dieser Reaktion werden 24,7 MeV frei.  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a57)  
  
58. Die Messwerte werden in ein Diagramm eingetragen und die gesuchten Werte abgelesen.



[Diagrammquelle](at58.xlsx)

|  |  |
| --- | --- |
| Halbwertsdicke | etwa 18 cm |
| Dicke für 90% | etwa 55 cm |

59. Durch Licht werden aus Metallen Elektronen herausgelöst werden.  
  
60.

|  |  |
| --- | --- |
| Licht löst aus der Fotokatode Elektronen heraus. Diese werden von der positiven Anode angezogen und bewirken einen Stromfluss. Der negative Pol der Spannungsquelle liefert neue Elektronen nach. Die Stromstärke hängt ab einer Grenzfrequenz von der Beleuchtungsstärke ab. Unterhalb der Grenzfrequenz werden keine Elektronen herausgelöst, da die Energie der Photonen zu gering ist. |  |

61.   
a)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t in h | 6 | 12 | 24 | 36 | 48 | 96 | 144 |
| N | 3.04\*1021 | 8,26\*1020 | 7,64\*1019 | 6,34\*1018 | 1,00\*1018 | 6,34\*1013 | 1,25\*1010 |
| ln N | 49,5 | 48,2 | 45,8 | 43,3 | 41,5 | 31,8 | 23,2 |

|  |  |
| --- | --- |
| [EXCEL-Tabelle](at61.xls) ln N0 = 51 N0 = 1,4\*1022 |  |

b) Halbwertszeit = 3,2h  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a61)  
  
62. a)   
b) Feststellung durch Ablenkung im elektrischen bzw. magnetischen Feld  
c) Der Massendefekt ist die Differenz der Massen vor dem Zerfall und der Massen nach dem Zerfall.



Diese Masse geht in Energie über:



Begründung: Beim Beta-Zerfall verliert der Kern immer die gleiche Menge an Energie. Die abgegebenen Elektronen haben aber zwischen einem sehr kleinen Wert und dem berechneten Maximalwert alle möglichen Energiewerte (kontinuierliches Spektrum). Da aber der Energieerhaltungssatz gilt, muss die restliche Energie anders abgegeben werden.

Das Antineutrino ist Träger dieser Energiedifferenz zwischen der der Energie, die der Kern verliert und der Energie des Elektrons.  
  
63. Masse eines Lichtquants m = hf/c²  
Anzahl der je Zeit auftreffenden Quanten n/t = P/hf = P/mc²  
Druck = Impulsänderung je Zeit/Fläche  
Impulsänderung ist 2 mal Impuls, weil reflektiert wird  
p = 2nmc/At = 2P/Ac = 4\*10-8 N/cm²  
[voll](vlsgatom.docx" \l "a63)[stä](vlsgatom.docx" \l "a63)[n](vlsgatom.docx" \l "a63)[dige Lösung](vlsgatom.docx" \l "a63)  
  
64.Energie von 1 g Licht E = mc² = 9\*1013 Ws  
Bei 4% Wirkungsgrad sind 2,25\*1015Ws notwendig. Das sind 6,24\*109 kWh, die 187 Millionen DM kosten.  
  
65. Einsteinsche Gleichung für den Fotoeffekt hf = WA + eU für beide Experimente aufstellen, nach WA umstallen und gleichsetzten. Dann nach h umstellen.

|  |  |
| --- | --- |
| Plancksche Kon. | 6,63\*10-34 Ws² |

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a65)  
  
66. hf = WA + eU

|  |  |
| --- | --- |
| Austrittsarbeit | 3,79 eV |

67. Die Wellenlängenänderung beim Comton-Effekt berechnet sich nach:  
  
Diese Gleichung muss nach dem Winkel umgestellt werden:  


68.

|  |  |
| --- | --- |
| a) Wellenlänge | 5,5\*10-12m |

b) Energie der eingestrahlten Quanten : 1,99\*10-13J  
Energie der gestreuten Quanten : 3,6\*10-14J  
Energiedifferenz = Energie der Rückstoßelektronen : 1,62\*10-13J = 1,02 MeV  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a68)  
  
69. = h/(m\*v)

|  |  |
| --- | --- |
| nicht relativistisch | 4,85\*10-12m |

Es muss aber der relativistische Massenzuwachs berücksichtigt werden, so daß

|  |  |
| --- | --- |
| Wellenlänge | 4,2\*10-12m |

70. Beim Abbremsen der Elektronen wird ihre gesamte kinetische Energie in Röntgenstrahlung umgewandelt.   
Energie der Elektronen = max. Energie der Strahlung

Da die Geschwindigkeit der Elektronen recht hoch ist, muss die Energie relativistisch berechnet werden.



Die kinetische Energie des Elektrons wird in die Energie des Röntgenphotons umgewandelt:

  
  
Einheitenbetrachtung:  
  
  
   
71. Atome können angeregt werden durch elastische Stöße mit Elektronen, durch Absorption von Licht und durch unelastische Stöße mit anderen Atomen oder Ionen.  
  
72. **1. Bohrsches Postulat:** Die Elektronen bewegen sich in der Atomhülle nur auf bestimmten Bahnen. Auf diesen bewegen sie sich strahlungsfrei. Die Radien dieser stationären Bahnen rn werden über den Bahndrehimpuls mvr durch die Bedingung   
2rnmevn = nh; n = 1,2,…  
ausgewählt (me = Masse des Elektrons, vn = Geschwindigkeitsbetrag des Elektrons auf der n-ten Bahn).  
**2. Bohrsches Postulat:** Geht ein Atom von einem Zustand höherer Energie En in einen Zustand niedriger Energie Em über, so wird ein Photon der Energie hf ausgesandt. En - Em = hf.  
Wird ein Photon absorbiert, so geht ein Atom von einem Zustand niedriger Energie in einen Zustand höherer Energie über; dabei gilt dieselbe Beziehung.  
  
73.   
  
74.   
  
75. aus dem Zerfallsgesetz ergibt sich:  


|  |  |
| --- | --- |
| Alter | 3264 Jahre |

76. Bäume in der Nähe von Autobahnen nehmen CO2 auf, das aus der Verbrennung von Benzin stammt. Da Erdöl in der frühen Zeit der Erdgeschichte gebildet wurde, ist sein C-14-Gehalt wesentlich geringer als der C-14-Gehalt im Kohlendioxid der Luft.  
  
77.

|  |  |
| --- | --- |
| Nullrate | 18 Impulse je Minute |
| Zählrate ohne Berücksichtigung der Nullrate | 64 Impulse je Minute |
| Zählrate | 64 - 18 = 46 Impulse je Minute |

78. Man hält ein 5 mm dickes Aluminiumblech vor das Zählrohr. Sinkt die Zählrate nicht merklich, so handelt es sich um Gamma-Strahlung.  
Oder: Man versucht, die Strahlung durch ein Magnetfeld abzulenken. Gamma-Strahlung läßt sich nicht ablenken.  
  
79. Isotope unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen im Kern. Die Anzahl der Protonen und Elektronen ist gleich. Deshalb besitzen alle Isotope die gleichen chemischen Eigenschaften und man braucht sie im Periodensystem nicht zu unterscheiden.  
  
80. Die Atome der radioaktiven Substanz zerfallen unter Aussendung von Alpha- und Beta-Strahlung. Diese Teilchen werden in der Materie abgebremst und geben ihre gesamte Energie an die Umgebung ab. Die Atome der Materie geraten in größere Schwingungen, die Materie erwärmt sich.  
  
81.

82. 75.8%·35 + 24.2%·37 = 35.5



83. Die Holzkohle ist rund 3500 Jahre alt.  
  
 [vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a83)  
  
84. Alpha‑Teilchen sind zweifach positiv geladene Heliumkerne. Sie sind viel größer als die Beta‑Teilchen. Die Anzahl der Stöße und Ionisationen auf einer Wegstrecke ist bei den Alpha-Teilchen somit viel größer als bei den Beta‑Teilchen. Die Reichweite der Alpha‑Teilchen in Luft ist viel kleiner als die Reichweite der Beta‑Teilchen, obwohl die Energie der Alpha‑Teilchen doppelt so groß ist wie die Energie der Beta-Teilchen. Somit ist für die Reichweite der Alpha‑ und Beta‑Teilchen die Häufigkeit der Stöße und Ionisationen entscheidender als die unterschiedliche Energie.  
  
85. H = Q·D, mit H = 1 mSv und Q = 10   
D = 10-4 Gy = 100 µGy   
Nach 5 Stunden muss der Forscher das Labor verlassen.  
  
86.

|  |  |
| --- | --- |
| Leistung | 220 W |

[Vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a86)  
  
87.Nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz beträgt die Temperatur des Körpers 1014 K. Das Wiensche Verschiebungsgesetz liefert eine Wellenlänge von 2,86\*10-6m.  
  
88.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 871 K = 598°C |

[Vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a88)  
  
89.

|  |  |
| --- | --- |
| Energiedifferenz | 2,55 eV |

Balmer-Linie: unteres Niveau = 2, entspricht -3,4 eV  
die Differenz von 2,55 eV ergibt als oberes Niveau = 4, entspricht -0,85 eV  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t89)  
  
90. Die Energie eines Photons berechnet sich mit



Setzt man die Werte ein, erhält man



Eine Leistung von 2,0 W bedeutet, dass in einer Sekunde ein Energie von 2,0 J abgegeben werden müssen. Da die Energie von einem Photon bekannt ist, müssen



Photonen abgegeben werden.

91.

Die komplette Reaktionsgleichung für diese Spaltung lautet:



Der Urankern nimmt ein Neutron auf. Dadurch erhöht sich seine Massenzahl um 1, die Kernladungszahl bleibt erhalten. Es sind also 92 Protonen und insgesamt 236 Nukleonen (Kernteilchen) im Kern. Das heißt, es sind 236 – 92 = 144 Neutronen vorhanden.

Durch das Eindringen des Neutrons gerät der Kern in Schwingung und zerplatzt. Dabei werden in diesem Beispiel ein Xenon- und ein Strontiumkern gebildet.

Zählt man die Kernladungszahlen zusammen, erhält man 92. Das ist o.k.

Zählt man die Massenzahlen zusammen, erhält man nur 234 Nukleonen. Es fehlen also 2 Neutronen, die ungebunden und frei den Ort des Geschehens verlassen.

Bei dieser Spaltung wird Energie frei, weil die Masse der Ausgangsprodukte größer ist als die Masse der Endprodukte. Es verschwindet also Masse, die in Energie umgewandelt wird. Die wird z.B. in Form von Wärme abgegeben, erhöht also die Temperatur der Umgebung.

Ein Neutron hat eine Masse von 1,0086495 u.

(u ist die atomare Masseneinheit und ist  groß. Damit erhalten die Massen der Kerne vernünftige Zahlenwerte)

Der Urankern und das Neutron haben dann zusammen eine Masse von 239,0525495 u.

Addiert man die Massen der beiden neuen Kerne und die Massen der beiden Neutronen, kommt man nur auf 235,829899 u.

Damit fehlen also 0,2226505 u = 3,697257\*10-28 kg, die auch als Massendefekt bezeichnet werden (meiner Meinung nach ein unglücklich gewählter Begriff).

Nach der Einsteinschen Gleichung

  
erhält man eine Energie von



Rechnet man das in die für die Atomphysik übliche Einheit e um, erhält man 207MeV.

()  
  
92.

|  |  |
| --- | --- |
| Anzahl n | 303 |

[voll](vlsgatom.docx" \l "a92)[st](vlsgatom.docx" \l "a92)[ändige Lösung](vlsgatom.docx" \l "a92)  
  
93. a) Energie der Photonen Eph, Austrittsarbeit WA, kin. Energie der Elektronen EkinEph = WA + Ekinh = (λ\*(WA+Ekin))/c  
b)

|  |  |
| --- | --- |
| Geschwindigkeit | 460\*103 m/s |
| Spannung | 0,603 V |

c)

|  |  |
| --- | --- |
| Wellenlänge | 492 nm |

[volls](vlsgatom.docx" \l "a93)[tändige](vlsgatom.docx" \l "a93) [L](vlsgatom.docx" \l "a93)[ösung](vlsgatom.docx" \l "a93)  
  
94. aus P=W/t und W=F\*s erhält man P=F\*c und mit F=m\*g dann P=m\*g\*c  
weiterhin gilt das Stefan-Boltzmann-Gesetz: P=σ\*T4\*A, σ=5,670\*10-8 Wm²K-4

Beide Gleichungen werden gleichgesetzt und nach T umgestellt.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 1,9 \* 106 K |

Das dürfte einige technische Probleme bereiten.  
  
95. Auf die Fläche der Radiometerblätter fällt eine maximale Strahlungsleistung P = 1,37 W (für A = 10 cm², Solarkonstante). Die entsprechende Kraft beträgt 4,7\*10-9 N. Dies ist viel zu wenig, um die Lagerreibung zu überwinden. Das Radiometer dreht sich durch den Druck des Restgases, das in der Umgebung der geschwärzten Flügelseiten heißer ist.  
  
96. Kraft: 5,8\*108 N  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a96)  
  
97. Massendefekt von C-12:  
m = Zmp + Nmn - mKm = 6mp + 6Nmn - mC-12m = 6\*1,007277 u + 6 \* 1,008665 u - 12 u  
m = 0,095652 u  
gesamte Bindungsenergie:  
EB = 0,095652 u \* 931,44 MeV/u  
EB = 89,09 MeV  
Bindungsenergie pro Nukleon:  
EB/A = 7,42 MeV  
  
98. m = EB/c² = 3,3\*10-10 g = 3,3\*10-4 mg  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a98)  
  
99.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

100. tH = ln2/

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | 1550 a |

101. Treffen schnelle Elektronen auf einen Festkörper (Anode), so überträgt ein Elektron auf ein Atom der Anode seine kinetische Energie, und ein Röntgenquant hf (Photon der Röntgenstrahlung) wird ausgestrahlt.   
Die Elektronen werden aus einer Glühkatode emittiert und durch eine hohe Spannung U zwischen Katode und Anode beschleunigt. Ein Elektron kann höchstens die Energie e\*U abgeben. Das ist zugleich die maximale Energie eines Röntgenquants.   
Die Energie der Röntgenquanten kann einen beliebigen Wert annehmen, jedoch die Energie e\*U eines Elektrons nicht übersteigen.  
min. Wellenlänge = (c\*h)/(e\*U)  
  
102. Die Masse von Atomkernen lässt sich massenspektroskopisch bestimmen. Beim Massenspektrographen befindet sich ein Kondensator in einem homogenen Magnetfeld. Die elektrischen und magnetischen Feldlinien stehen dabei senkrecht aufeinander. Bei vorgegebener magnetischer Flussdichte und elektrischer Feldstärke bewegen sich Atomkerne einer bestimmten Geschwindigkeit geradlinig durch den Kondensator und verlassen ihn. v=E/B, Geschwindigkeitsfilter.  
Die anschließende Ablenkung durch ein weiters homogenes Magnetfeld ermöglicht es, die spezifische Ladung Q/m der Atomkerne zu bestimmen. Aufgrund der Ablenkung werden die Kerne entsprechend ihrer Massen auf Kreisbahnen gezwungen. Der Radius der Kreisbahn lässt sich durch Gleichsetzen von Radial - und Lorentzkraft berechnen.  
Aus der spezifischen Ladung kann die Masse der Atomkerne bestimmt werden.  
  
103. Isotope sind Elemente, die aufgrund derselben Ordnungszahl gleiche Anzahl der Elektronen in der Atomhülle haben. Man findet sie an der gleichen Stelle des Periodensystems der chemischen Elemente. Durch chemische Methoden (Oxidation, Reduktion...) sind sie nicht voneinander zu trennen. Die chemischen Bindungen werden nur durch die Wechselwirkung der Elektronen der Bindungspartner erklärt. Die Atomkerne bleiben bei chemischen Reaktionen unverändert.  
  
104.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Formelzeichen** | **Einheit** | **Größe** | **Merkmal** |
| A | Bq | Aktivität | Zahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne |
| D | Gy | Energiedosis | Gesamte absorbierte Strahlungsenergie in der Masseneinheit |
| H | Sv | Äquivalentdosis | Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen |

105. In einer Sekunde zerfallen ungefähr 12,36 Millionen Teilchen.  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a105)  
  
106. Zerfallsgesetz

|  |  |
| --- | --- |
| Monat | 12% |
| Jahr | 5\*10-10 % |

107. Da Neutronen keine Ladung aufweisen, werden sie durch das elektrische Feld der Elektronen nicht abgelenkt. sie durchqueren die Atomhülle ungehindert und dringen in den Kern ein.  
Neutronen durchschlagen die Stahlflaschen fast ungehindert aufgrund ihres elektrisch neutralen Verhaltens und ihrer Kleinheit.  
  
108. Bei der Paarzerstrahlung entstehen aus einem Elektron und einem Positron wegen des Impulerhaltungssatzes zwei in entgegen gesetzter Richtung auseinanderfliegender Gamma-Photonen:  
 e- + e+ = 2  
Jedes Photon besitzt die Energie Eph = h \* f, die sich aus der Umwandlung der Elektronen- bzw. Positronenmasse in Energie ergibt.  
  
  
109. U-235 + n -> Cs-140 + Rb-94 + 3n + Energie  
Ruhemassen vor der Spaltung: 236,05256u  
Ruhemassen nach der Spaltung : 235,61445 u  
Massendefekt: 0,93555u  
frei werdende Energie m \* c²  
13,9817\*10-11 J = 869 MeV  
  
110. Massen vor der Reaktion: 13,014783u  
Massen nach der Reaktion: 13,008665u  
Massendefekt: 0,006118u  
Exotherme Reaktion: Die Summe der Massen der Teilchen ist nach der Reaktion kleiner als vor der Reaktion.  
Die Massendifferenz wird in Energie umgewandelt.  
  
111. Der Entdecker der radioaktiven Strahlen hieß H. Becquerel. Er entdeckte diese Strahlen 1896.  
  
112. ‑, ‑ und ‑Zerfall sind die drei wichtigsten Zerfallsarten.  
Beim ‑Zerfall werden ‑Teilchen ausgesandt. Diese bestehen aus 2 Protonen und 2 Neutronen. ‑Teilchen sind Heliumkerne.  
Der ‑Zerfall wird in zwei Gruppen eingeteilt. Beim ‑‑Zerfall wird ein Elektron zusammen mit einem Antineutrino ausgesandt. Beim +‑Zerfall wird ein Positron zusammen mit einem Neutrino ausgesandt.  
Beim ‑Zerfall strahlt der Kern Energie in Form elektromagnetischer Wellen ab.  
  
113. Sr‑90 zerfällt in Y‑90. Die Halbwertszeit von Sr‑90 beträgt 28.5 Jahre, die von Y‑90 lediglich 64 Stunden.   
Sr‑90 und Y‑90 sind im Gleichgewicht. Beide Aktivitäten sind also gleich.   
Die Aktivität dieser Schulproben ist doppelt so groß, als erwartet. Denn zu jedem Zerfall des Sr‑90 gehört auch ein Zerfall von Y‑90.  
  
114.   
a) wahr  
b) falsch  
c) wahr  
d) wahr  
e) falsch  
f) falsch

115. Anzahl der im Zählrohr eintreffenden ‑Quanten pro s =  
   
   
  
116. Bei den ‑Teilchen sind sehr viel weniger Zellen betroffen als bei den ‑Teilchen. Denn ein ‑Teilchen erzeugt in einer Zelle im Mittel 1000mal mehr Ionen und Elektronen als ein ‑Teilchen. Somit verlieren die ‑Teilchen ihre Energie auf einer viel kürzeren Distanz als die ‑Teilchen.  
  
117. Die Materieverteilung im Atom ist nicht homogen, sondern es gibt ein kleines Gebiet, in dem nahezu die gesamte Masse konzentriert ist.  
Dieses Gebiet (wir nennen es nun den Atomkern) ist etwa 1/100000 des Atoms groß.  
Der Kern ist positiv geladen.  
Die Elektronen müssen sich folglich außerhalb des Kerns befinden.  
  
118. A = 0.039 =100/n  n = 2564,1  
Es müssen 2565 Teilchen einfallen, damit 100 Teilchen registriert werden.  
  
119. D = 300kJ/70 kg = 4285.7 Gy bzw. 4285.7 Sv ª 700 Letaldosen. Während also ein Glas Whisky sehr harmlos ist, würde die entsprechende radioaktive Strahlung den sofortigen Tod bedeuten.  
  
120. C-14 wird in der oberen Atmosphäre durch die kosmische Strahlung aus N-14 erzeugt.  
Das C-14 oxidiert zu CO2 genau wie C-12.  
Das radioaktive CO2 wird über die ganze Atmosphäre gleich mit dem stabilen CO2 durchmischt.  
Die Pflanzen nehmen bei der Photosynthese CO2 auf und geben O2 ab. Sie bauen also den Kohlenstoff in ihren Organismus ein. Das läuft für C-14 genauso ab wie für C-12!  
Durch die Nahrungsaufnahme kommt der Kohlenstoff auch in das Pferd (z.B. durch das Fressen von Gras oder Möhren).  
Damit hat das Pferd dasselbe C-14/C-12-Verhältnis wie die Atmosphäre!  
  
121.



a) **1. Bohrsches Postulat:** Die Elektronen bewegen sich in der Atomhülle nur auf bestimmten Bahnen. Auf diesen bewegen sie sich strahlungsfrei. Die Radien dieser stationären Bahnen rn werden über den Bahndrehimpuls mvr durch die Bedingung   
2Πrnmevn = nh; n = 1,2,…  
ausgewählt (me = Masse des Elektrons, vn = Geschwindigkeitsbetrag des Elektrons auf der n-ten Bahn).  
**2. Bohrsches Postulat:** Geht ein Atom von einem Zustand höherer Energie En in einen Zustand niedriger Energie Em über, so wird ein Photon der Energie hf ausgesandt. En - Em = hf.  
Wird ein Photon absorbiert, so geht ein Atom von einem Zustand niedriger Energie in einen Zustand höherer Energie über; dabei gilt die selbe Beziehung.  
b) Bei Anregung gehen die Elektronen auf höhere Bahnen (Energieniveaus). Dort halten sie sich etwa 10-8s und fallen unter Aussendung von Photonen wieder auf die ursprüngliche Bahn zurück. Das kann auch über dazwischen liegende Bahnen erfolgen. Jedes Photon trägt genau die Energie, die dem Energieunterschied der Bahnen entspricht. Damit werden nur Photonen mit bestimmten Energien (Farben) ausgesandt.  
c) Es gilt für die Spektralserien des Wasserstoffs allgemein:



In diesem Fall ist m=4 und n=2, also



Wellenlänge = 486 nm, Farbe = blau

122. Das Produkt gewisser physikalischer Größen (komplementärer Größen)weist grundsätzlich eine Unbestimmtheit (Unschärfe, Ungenauigkeit) auf. Das ist eine prinzipielle Eigenschaft der Materie. Diese Unschärfe tritt nur im Bereich der Mikrowelt zutage.   
Beispiel: Ort-Impuls-Unsicherheit: x p ≥ h/2  
x Genauigkeit, mit der eine Ortskoordinate des Teilchens bekannt ist  
p Genauigkeit, mit der eine Impulskomponente bekannt ist  
h Plancksches Wirkungsquantum  
  
123. a) spontane Emission: ein angeregtes Atom geht von allein in den Grundzustand über, dabei wird ein Photon ausgesandt  
induzierte Emission: ein angeregtes Atom wird von einem Photon getroffen, das die gleiche Energie besitzt, wie zur Anregung des Atom notwendig war, das angeregte Atom sendet zwei identische Photonen aus = Strahlungsverstärkung  
b) geringe Divergenz: Vermessung von großen Strecken (z.B. Erde - Mond)  
Energiereich: Schneidwerkzeug,   
hohe Frequenz: Informationsübertragung  
  
124. Wellenlänge: 1,2 \* 10-10 m  
Röntgenstrahlung  
Spannung 102 V  
Beschleunigung 9 \* 1014 m/2²   
Zeit: 6,6 \* 10-9 s  
  
125. a) sehr dünne Metallfolie wird mit -Teilchen beschossen  
Detektoren registrieren Teilchen hauptsächlich hinter der Folie  
einige werden von der Folie reflektiert  
b) Atome bestehen aus sehr großer, durchlässiger Hülle  
Kern ist positiv, sehr schwer und undurchlässig  
c) strahlungsfreie Bahnen  
Linienspektrum  
  
126. T½ = 1580 a  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t126)  
  
127. In der Luft ist ein bestimmtes, relativ konstantes Verhältnis von stabilen C-12 und radioaktivem C-14. C-14 wird durch die kosmische Höhenstrahlung ständig neu gebildet.  
Lebewesen nehmen durch die Nahrung C-14 auf. Stirbt ein Lebewesen, hört die C-14-Zufuhr auf und der Anteil nimmt durch den radioaktiven Zerfall gleichmäßig ab.   
Altersbestimmung: man kann den Zeitpunkt des Todes bestimmen, wenn man den Anteil C-14 in der Luft mit dem Anteil C-14 im Fossil vergleicht. Je weniger C-14 im Fossil, um so länger ist das Tierchen tot.  
Dieses Verfahren ist für einen Zeitbereich von 1000 Jahre bis 30 000 (etwa 6 Halbwertzeiten) Jahre geeignet. Die Unsicherheit wird mit etwa 5% angegeben.  
  
128. Der Heliumkern besteht aus 2 Neutronen und 2 Protonen. Addiert man die Massen der einzelnen Elementarteilchen, stellt man fest, dass sie größer ist als die Masse des Heliumkerns. Die fehlende Masse (Massendefekt) wurde in Form von Energie (E = mc²) abgegeben. Sie muß wieder aufgewandt werden, wenn der Kern in seine Bestandteile zerlegt werden soll (Bindungsenergie)  
  
129. Jeder Atomkern besteht aus Elementarteilchen (Protonen, Nukleonen). Addiert man die einzelnen Massen der Elementarteilchen, stellt man fest, dass sie größer ist als die Masse des Kerns. . Die fehlende Masse (Massendefekt) wurde in Form von Energie (E = mc²) abgegeben. Sie muss wieder aufgewandt werden, wenn der Kern in seine Bestandteile zerlegt werden soll (Bindungsenergie). Diese Bindungsenergie ist je Nukleon bei verschiedenen Elementen unterschiedlich. Bei Eisen ist sie am größten. Ein Elementarteilchen, das in einem Eisenkern gebunden ist, hat also die meiste Energie verloren. Damit muss auch die meiste Energie aufgewandt werden, um ein Teilchen aus dem Eisenkern zu lösen. Er ist am stabilsten.  
  
130. Die Bindungsenergie je Nukleon nimmt bis zum Eisen zu und dann wieder ab. Bei der Kernfusion werden zwei leichte Kerne zu einem schwereren verschmolzen. Dabei nimmt die Bindungsenergie je Nukleon zu. Ein Elementarteilchen, das an der Kernfusion beteiligt ist, verliert also dabei an Energie. (Massendefekt, E = mc²). Das geht aber nur soweit, bis bei der Fusion Eisen entsteht. (Sternentwicklung).  
Wird ein Kern gespalten, der schwerer als Eisen ist, wird die Bindungsenergie je Nukleon auch wieder größer und Energie abgegeben.  
  
131. a) mit E = m \* c² und E = h \* f erhält man m = 3,49\*10-36 kg  
p = m \* v, p = 1,05\*10-27 kgm/s  
b) Druck = Kraft \* Fläche, die Photonen haben einen Impuls, bei der Reflexion ändert sich der Impuls (Geschwindigkeit kehrt sich um), Impulsänderung = Kraft \* Zeit  
  
132. Die Energie eines Photons berechnet sich aus E = h\*f oder mit f = c/Wellenlänge E = h\*c/Wellenlänge. Damit ist die Energie eines Photons = 3,056\*10-19 J. Um damit eine Leistung von 1 mW abzugeben sind nach P = n\*E/t immerhin 3,3\*1015 Teilchen notwendig.  
  
133. a) Frequenz = 2,47\*1015 Hz  
b) Energie 2,18\*10-18 J  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a133)

134. Welche Energie liefert ein Kilogramm Uran-235?  
E = Anzahl der Teilchen in einem Kilogramm \* Energie je Spaltvorgang = ((Masse \* Avogadrosche Konstante)/molare Masse ) \* Energie je Spaltvorgang = ((1 kg \* 6,022\*1026 1/kmol)/235 kg/kmol) \* 200 \* 1,6\*10-13 Ws = 8,2\*1013 Ws/kg  
Daraus ergibt sich eine tägliche Masse von 0,316 kg.  
  
135. Ein scharfes Bild entsteht, wenn die Lichtquelle wirklich punktförmig ist oder die Strahlen mit Hilfe von Linsen gebündelt werden (Bildentstehung Sammellinse). Die Röntgenstrahlen können aber durch keine Linse gebündelt werden, so dass eine Bildentstehung wie in der Optik nicht möglich ist. Da die Quelle der Strahlung auch nicht punktförmig ist, sondern durch die Abstoßungskräfte zwischen den Elektronen, die beim Auftreffen die Strahlung erzeugen, ausgedehnt, entstehen immer leicht unscharfe Bilder.   
Die Computertomographie beseitigt durch ausgeklügelte Verfahren diesen Mangel.   
  
136. mit e\*U = h\*fmax erhält man   
a) fmax = 1,21 \* 1020 Hz -> Wellenlänge = 2,48 \* 10-12 m  
b) fmax = 5,32 \* 1018 Hz -> Wellenlänge = 5,64 \* 10-11 m  
  
137. Bleiatome haben eine sehr große Masse. Die Röntgenstrahlung ist nach der Quantentheorie auch als Teilchenstrom zu betrachten. Zwischen Röntgenphotonen und den Bleiatomen kommt es zu elastischen Stößen, bei denen die Photonen einen Teil ihrer Energie abgeben. (Compton-Effekt)  
  
   
138. Es wird die Methode der gekreuzten Felder angewandt: durchfliegen geladenen Teilchen ein senkrecht zur Flugrichtung stehendes Elektrisches Feld, so wirkt auf sie die Kraft Fel = Q\*E. Wirkt gleichzeitig zum elektrischen Feld ein dazu senkrecht stehendes magnetisches Feld, so übt dieses Feld auf die Teilchen die Kraft Fm = Q\*v\*B aus. Fel und Fm sind entgegengesetzt zueinander gerichtet. Sind beide Kräfte betragsmäßig gleich, fliegen die geladenen Teilchen geradlinig durch die Felder.   
Es gilt Q\*E = Q\*v\*B bzw. v = E/B. Nur Teilchen dieser Geschwindigkeit gelangen ohne Ablenkung durch die gekreuzten Felder = Geschwindigkeitsfilter.  
Beta-Plus-Teilchen = Positron = Antiteilchen zum Elektron -> Masse = Elektronenmasse  
Geschwindigkeit der Beta-Plus-Teilchen: 155\*106 m/s  
kin. Energie Ekin = m/2\*v² = 1,1 \* 10-14 J = 68 keV.   
  
139.   
a) Fotoeffekt - Gamma löst e aus Schale

Comptoneffekt - Gamma übergibt E an e-

Paarerzeugung - Gamma zerfällt in e+ und e-

b) genetische-DNA zerstört, Nachkommen missgebildet oder Spätfolge Krebs

somatische-Strahlenkrankheit event. Tod  
  
140.   
a) 31T + 21D -> 52He\*  
  
52He\* -> 10n + 42He

b) Es wird die Masse der Ausgangsstoffe und die Masse der Endprodukte verglichen. Der Unterschied ist der Massendefekt und wird in Energie umgewandelt. Über E = m \* c² erhält man eine Energie von 2,82 \* 10-12 J, das sind 17,59 MeV. Mit der Energie der Deuteronen erhält man eine Energie von 18 MeV.  
  
141. a) Im aufgefundenen Holzstück befinden sich noch 1,2\*108 14C-Atome.  
b) Zur Zeit 0 waren im Holz 1,5\*1012 14C-Atome. Nach dem Zerfallsgesetz erhält man ein Todeszeitpunkt vor etwa 77983 Jahren.  
[(vollständige Lösung)](vlsgatom.docx#a141)

142.   
Die freigesetzte Energie ergibt sich aus dem Massendefekt. Das ist die Differenz der Massen der Ausgangsprodukte und der Endprodukte.  


143.   
  
144. Mit einer Halbwertszeit von 5730 a erhält man 17 190 a, denn aller 5730 a halbiert sich die Menge des C-14.

|  |  |
| --- | --- |
| Vergangene Zeit | Vorhandene Menge C-14 |
| 5730 a | ½ der Ausgangsmenge |
| 2 \* 5730 a = 11 460 a | ¼ der Ausgangemenge |
| 3 \* 5730 a = 17 190 a | 1/8 der Ausgangsmenge |

145. Die Strahlung, die durch Papier absorbiert werden kann, ist Alpha-Strahlung. Der Rest ist Gamma-Strahlung.   
   
  
146.   
a) Die Einsteinsche lichtelektrische Gleichung lautet  
   
Die Elektronen müssen gegen die negative Anodenspannung anlaufen, sie werden abgebremst. Bei der negativen Grenzspannung U1 erreichen die schnellsten Elektronen, die die Katode verlassen haben, gerade nicht mehr die Katode. Im Gegenfeld wird beim Bremsvorgang die kinetische Energie in potenzielle Energie eU1 umgewandelt.  
  
Setzt man diese Grenzbedingung und die Beziehung f = c/ in die Einsteinsche Gleichung ein, so ergibt sich  
  
  
b) Ist die Energie des eingestrahlten Lichts gleich der notwendigen Austrittsarbeit, dann können Elektronen gerade noch die Fotokatode verlassen. Dafür gilt:  
  
Das ist rotes Licht.

147. Es gilt die Einsteinsche Gleichung. Ein Teil der Energie der Photonen wird zum Herauslösen der Elektronen benötigt. Der verbleibende Betrag beschleunigt die Elektronen auf die gesuchte Geschwindigkeit.  


148. Die Photonen bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit. Bei einer endlichen Ruhemasse m0 würde ihre Masse m nach der relativistischen Beziehung   
  
unendlich groß werden.   
  
149. a) Ergebnis: Ein Fotostrom ist erst ab Licht einer bestimmten Frequenz zu messen. Bei kleineren Frequenzen ist auch bei größer werdender Intensität des Lichtes kein Strom zu messen.  
  
b) Erklärung: Licht kann als ein Strom von Photonen verstanden werden. Photonen sind Lichtteilchen. Jedes Photon hat eine bestimmte Energie E=h⋅f. Die Energie eines Photons ist also direkt proportional zu seiner Frequenz. Die Energie wird an die Elektronen im Metall quantisiert übertragen. Ein Photon gibt also seine gesamte Energie an ein Elektron ab und ist danach verschwunden. Und Elektronen können nicht die Energie von mehreren Photonen sammeln.  
Damit wird erst ab einer bestimmten Frequenz der Photonen (=Energie) den Elektronen soviel Energie zugeführt, dass sie aus dem Metall herausgelöst werde. Dazu ist eine metalltypische Arbeit notwendig.  
Besitze das Photon mehr Energie, als zum Herauslösen notwendig war, wird die restliche Energie zur Beschleunigung der Elektronen benutzt, sie besitzen dann kinetische Energie. Diese Energie kann bei der Gegenspannungsmethode gemessen werden   
c) 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| f in Hz | 5,19\*1014 | 5,49\*1014 | 6,88\*1014 | 7,40\*1014 |
| Ekin in eV | 0,14 | 0,27 | 0,82 | 1,05 |
| Ekin in J | 2,24\*10-20 | 4,33\*10-20 | 1,31\*10-19 | 1,68\*10-19 |

d)

|  |  |
| --- | --- |
| Die Grenzfrequenz beträgt 4,8\*1014 Hz. Das heißt, das Licht, das energiereicher ist, also eine höhere Frequenz besitzt, kann Elektronen aus dem Metall herauslösen. Licht mit einer niedrigeren Frequenz löst keine Elektronen heraus.  Die Austrittsarbeit beträgt etwa 1,9 eV. Diese Energie ist notwendig, um Elektronen aus dem Metall herauszulösen.  Da diese Größe materielabhängig ist, kann man eine Aussage über das Metall machen. Es könnte Cäsium sein.  Der Anstieg der Kurve ist das Plancksche Wirkungsquantum. ^    Es sind auch andere Differenzen zur Berechnung des Anstiegs möglich. |  |

150.  
a) Die Photonen besitzen eine bestimmte Energie E=h⋅f . Diese Energie wird bei der Wechselwirkung mit einem Elektron vollständig abgegeben. Ein Teil der Energie wird zum Herauslösen des Elektrons aus dem Atom verwendet. Der Rest der Energie bleibt dem Elektron als kinetische Energie erhalten, es fliegt mit einer bestimmten Geschwindigkeit in einer beliebigen Richtung aus der Metallschicht heraus.  
b) Eine höhere Lichtintensität bedeutet mehr Photonen. Damit werden bei einer größeren Intensität auch mehr Elektronen herausgelöst.  
(Das gilt nur unter der Voraussetzung, dass die Energie der Photonen größer ist als die Ablösearbeit des Metalls. Falls die Energie zu klein ist, nützt auch eine Intensitätssteigerung nichts, es werden keine Elektronen herausgelöst.)  
c) Das Plancksche Wirkungsquantum ist der Anstieg der [Ekin(f)-Funktion](at150.xls).  
Die Ablösearbeit ist der Schnittpunkt der Kurve mit der Energieachse (y-Achse) und ergibt 3,17\*10-19 J.  
d) Zur Bestimmung der maximalen kinetischen Energie der Fotoelektronen wird die Gegenspannungsmethode verwendet. An den Anschlüssen einer Fotozelle wird eine veränderbare Spannung angelegt. Fällt Licht auf die Kathode, wird zwischen Anode und Kathode eine Strom gemessen. Die Spannung wird nun so geregelt, dass dieser Fotostrom Null wird.

Alle Elektronen, die aus der Kathode herausgelöst wurden, werden von dem Feld zwischen Kathode und Anode bis auf Null abgebremst. Die Energie der schnellsten Elektronen entspricht dann genau der Energie des elektrischen Feldes.  
  
e) Untersucht werden muss das Licht mit der höchsten Energie, also der kleinsten Wellenlänge. Das ist Licht mit der Wellenlänge 397 nm. Die Photonen dieses Lichtes haben eine Energie von 3,12 ev.   
Mit dieser Energie ist es nicht möglich, aus der Platinkathode Elektronen herauszulösen. Die Energie ist zu gering.  
  
f) Es gilt:   
  
Es sind 12 Photonen je Sekunde notwendig.  
  
 152.

a)

|  |  |
| --- | --- |
|  | b) kontinuierliches Spektrum: Beim Abbremsen der Elektronen geben sie ihre Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. Da der Abbremsvorgang ganz unterschiedlich verlaufen kann, entsteht Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge, deren Intensitätsverlauf das kontinuierliche Spektrum darstellt.  Einige Elektronen schlagen aus der unteren Schale der Anodenatome Elektronen heraus. Elektronen aus oberen Schalen fallen auf die freien Plätze und geben dabei eine Strahlung bestimmter Wellenlänge ab. Diese Spitzen im Spektrum sind die charakteristische Strahlung. Ihre Wellenlängen sind materialabhängig. |

c) Das Spektrum hat auf der kurzwelligen Seite eine scharfe Grenze. Die Strahlung mit dieser Wellenlänge hat die größte Energie der ausgesandten Röntgenstrahlung.  
Sie entsteht, wenn Elektronen maximal abgebremst werden und sofort alle Energie abgeben. Mehr Energieabgabe ist nicht möglich.

Diese Grenze hängt nur von der Beschleunigungsspannung ab.

d)

Das Röntgenspektrum zerfällt in zwei Spektren: das kontinuierliche Spektrum als Folge der Abbremsung der Elektronen und das charakteristische Linienspektrum. Letzteres entsteht, wenn die schnellen Elektronen tief in die Hülle der getroffenen Atome des Anodenmaterials eindringen und dort ein Elektron der innersten Schale herausschlagen. Ein Elektron aus einer darüberliegenden Schale füllt diesen leeren Platz aus und sendet beim Übergang zu dieser Schale (K-Schale) Strahlung einer bestimmten Wellenlänge aus. Fällt ein Elektron aus der 2. Schale in die 1. Schale (L nach K), bezeichnet man die dabei entstehende Linie als K-Linie, fällt es aus der 3. Schale in die 1. Schale (M nach K), dann heißt die Linie K-Linie. Die Energie der emittierten Röntgenstrahlung berechnet sich nach dem Gesetz von Moseley.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: |  |
| Lösung: | Damit kann die Wellenlänge der Strahlung berechnet werden: | | |
| Antwort: | Die K-Linie des Eisens hat eine Wellenlänge von 1,64⋅ 10-10 m. | | |

153.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: | Z |
| Lösung: |  | | |
| Antwort: | Die Anode besteht aus Kupfer. | | |

154. Es muss gezeigt werden, dass die Elektronen mit der Geschwindigkeit, mit der sie die Entfernung Sonne - Erde in 30 Stunden überwinden, soviel kinetische Energie besitzen, dass sie die Atome ionisieren können.  
  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a154)  
  
155.   
  
1. Aluminium wird mit Alphateilchen beschossen:  
  
Bei der ersten Reaktion entsteht ein freies Neutron, das instabil ist und in ein Proton, ein Elektron sowie ein Antineutrino zerfällt:  
  
  
Der Phosphorkern zerfällt unter Aussendung von Beta+-Strahlung:  
  
  
156.  
Paarzerstrahlung:  
  
Da Positron und Elektron die gleiche Masse besitzen, reicht es aus, die Energie zu berechnen, die bei der Umwandlung eines Teilchens frei wird.   
  
Die dabei entstehende Energie geht an das Photon über:  
  
Damit wird:  
  
Diese Frequenz entspricht sehr harter Röntgenstrahlung.  
  
157. Um ein Proton abzuspalten, sind mindestens 19,3 MeV notwendig, für ein Neutron 20,6 MeV.  
  
[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a157)  
  
158. Mit der heute bekannten Zerfallsreihe des Radiums lassen sich die unbekannten Stoffe finden:



Bismut kann sowohl Alpha- als auch Beta-Zerfall durchführen. Deshalb teil sich die Kette hier, um dann aber wieder zusammenzufinden:

1.



2.



Damit lässt sich folgende Zuordnung vornehmen:

|  |  |
| --- | --- |
| Emanation | Radon |
| Radium A | Polonium |
| Radium B | Blei |
| Radium C | Bismut |
| Radium C1 | Thallium |
| Radium C2 | Polonium |

Die Radium-Reihe endet bei stabilem Blei-206.

159.

a) Teilchen, die sich mit einer Geschwindigkeit bewegen, kann eine Welle zugeordnet werden. Diese de Broglie-Welle gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Teilchen in einem bestimmten Bereich anzutreffen sind.

Für die bewegten Natriumatome lässt sich die de Broglie-Wellenlänge berechnen:  


Jeder Natriumwolke ist eine Welle von 30 µm Wellenlänge zuzuordnen.  
Laufen nun zwei gleichartige Wellen gegeneinander, entsteht durch Interferenzen eine stehende Welle. Die Knoten haben dabei einen halben Wellenlängenabstand, also 15 µm. Diese Wellenlänge konnte beobachtet werden.

b) An den Knoten der stehenden Wellen ist die Antreffwahrscheinlichkeit für Natriumatome null, an den Bäuchen maximal. Die Lichtwellen im sichtbaren Bereich haben eine wesentlich kleinere Wellenlänge als der Abstand der Bäuche der stehenden Welle. Deshalb ist es möglich, das ein Schattenwurf entsteht.

c) Wird die Geschwindigkeit der Wolken erhöht, sinkt die Wellenlänge der Materiewellen. Da die Geschwindigkeit um den Faktor 1 Million (106) größer wird, verringert sich die Wellenlänge um den gleichen Faktor. Sie sinkt also auf 30 pm.  
Die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes liegt zwischen 400 nm und 800 nm und damit deutlich über den Abständen der Knoten und Bäuche. Damit ist ein Schattenwurf nicht mehr möglich.

160. Entsprechend der Erkenntnis von de Broglie kann man jedem bewegten Teilchen eine Welle zuordnen. Geht diese Welle durch ein Gitter, kommt es zur Interferenz. Oder, wie Dirac es ausdrückte: „Jedes Quantenobjekt interferiert mit sich selbst.“

Die Wellenlänge des Fullerenmöleküls kann mit der de Broglie-Gleichung berechnet werden:



Den Teilchen kann also eine Materiewelle mit 3,59 pm Wellenlänge zugeordnet werden.

Die Lage der Interferenzmaxima kann mit der entsprechenden Gleichung für Lichtwellen berechnet werden:  


Da es sich um das 1. Maximum handelt, setzt man k=1 und erhält:  


Das entspricht dem gemessenen Abstand der ersten Interfernzstreifen.

161.

a) Die Elektronen geben bei dem elastischen Stoß mit den Natriumatomen kinetische Energie in Portionen ab. Diese Energie entspricht 2,12 eV. Durch den Stoß wird das Atom angeregt und gibt kurze Zeit später die aufgenommene Energie in Form eines Lichtquants ab. Die Energie dieses Photons entspricht den aufgenommenen 2,12 eV.



und die Wellenlänge:



Das ist gelbes Licht.

b) Die Elektronen können an die Natriumatome nur diskrete Energiewerte der Größe 2,12 eV abgeben. Damit ein Stromfluss nachweisbar ist, müssen aber die Elektronen noch das Gegenfeld zwischen dem Gitter und der Anode überwinden. Dazu ist eine Energie von 1,5 eV notwendig. Weiterhin tritt zwischen der Katode und dem Gitter, die aus verschiedenen Metallen bestehen, eine Spannung von etwa 0,18 V auf, die die Kurve ebenfalls verschiebt (Kontaktspannung)

c) Die Beschleunigungsspannung von 10V muss als erstes um die Kontaktspannung vermindert werden, so dass noch 9,82V übrig bleiben.

|  |  |
| --- | --- |
| Diese verbleibende Spannung teilt sich auf die vier Streifen plus den Rest auf.  Der Rest r ist 9,82V-(4\*2,12V)=1,34V oder mit einer Gesamtstreckenlänge von 2 cm:  2 cm - (4\*a) = r.  Der Rest kann als Teil von a berechnet werden:    Der Rest ist also der 0,63te Teil des Abstandes zwischen zwei Leuchtstreifen.  Damit kann nun der Abstand a berechnet werden: |  |

162.

|  |  |
| --- | --- |
| a) Die Elektronen erhalten auf dem Weg zwischen Katode und Gitter kinetische Energie. Durch diesen Schwung gelingt es ihnen, hinter das Gitter zu gelangen. Hier spüren sie das Feld zwischen Anode und Gitter. Dieses Feld ist so gerichtet, dass es die Elektronen abbremst. Die energiereichsten Elektronen schaffen aber den Weg zur Anode und am Strommesser ist ein Ausschlag zu erkennen.  Dieser Strom ist ein Maß für die Energie der Elektronen. |  |

b) Die Neonatome lassen sich durch Elektronen, die eine Energie von 19eV haben, durch elastische Stöße anregen. Die Elektronen geben dabei ihre gesamte Energie an die Neonatome ab. Danach sind sie zu schwach, um gegen das Feld hinter dem Gitter anzulaufen und der Strom geht deutlich zurück.  
En weiterer Spannungsanstieg verleiht den geschwächten Elektronen wieder Energie und der Strom steigt wieder.

Haben die Elektronen wieder eine Energie von 19eV erreicht, geben sie wieder alles durch Stöße an die Neonatome ab.

c)

Licht einer bestimmten Farbe (Frequenz) hat eine bestimmte Energie:



Die Neonatome erhalten ihre Anregungsenergie durch elastische Stöße durch die Elektronen, die dabei eine Energie von 19eV verlieren. Diese Energie nehmen die Neonatome auf und geben sie kurze Zeit später als Licht wieder ab.   
Welcher Frequenz entspricht eine Energie von 19eV?  


Diese Frequenz ist die von ultraviolettem Licht.

d) Erklärung: Die Energieabgabe der Neonatome erfolgt nicht mit einem Mal, sondern stufenweise. Die angeregten Elektronen springen von der höheren Schale in mindestens zwei Stufen auf die ursprüngliche Schale zurück. Dabei wird zweimal ein diskreter Energiewert abgegeben. Einer davon entspricht der roten Farbe.

163. Die Intensität des Laserstrahls ist um den Faktor 2,9 größer als die Intensität des Sonnenlichtes.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a163)

164. Nach 433s, also etwa 7 min ist der Bierschaum noch 1 cm hoch.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a164)

165. Zerfallsgleichung



a) Beim radioaktiven Zerfall des Plutonium-238 in Uran-234 unter Abgabe eines Alpha-Teilchens werden 5,59 MeV Energie frei.

b)

|  |  |
| --- | --- |
| Energieniveauschema: Vom energetisch höher gelegenen Pu-238 geht er Kern in entweder in den Grundzustand U-234 oder den angeregten Zustand U\*-234 über. Von diesem Zustand aus geht er dann unter Abgabe eines Gamma-Quant ebenfalls in den Grundzustand.  Wellenlänge des Gamma-Quants: |  |

c)

|  |  |
| --- | --- |
| Aus der Quelle, in der sich das Plutonium befindet, kommen -Teilchen heraus. Die Öffnung erzeugt einen dünnen Strahl, der senkrecht zu den Feldlinien in eine Magnetfeld einfliegt. Durch die Lorentzkraft werden die geladenen Teilchen auf eine Kreisbahn gezwungen. Zur Bestimmung des Radius dieser Bahnen lässt man die Teilchen auf eine Fotoplatte fallen oder benutzt ein Zählrohr.  Der Radius der Kreisbahn hängt nur von der Geschwindigkeit der Teilchen ab, da die Massen aller Teilchen gleich sind.  Damit die -Teilchen nicht von der Luft absorbiert werden, muss der ganze Versuch im Vakuum stattfinden. |  |

Messgrößen:

\* Flussdichte des Magnetfeldes B

\* der Abstand zwischen dem Austritt der Strahlen an der Quelle und dem Auftreffpunkt auf der Fotoplatte. Das ist der Durchmesser der Kreisbahn der Teilchen.

Herleitung der Gleichung:

Die Radialkraft wird von der Lorentzkraft aufgebracht:



Die kinetische Energie ist  


Das wird in die erste Gleichung eingesetzt:  


Als Naturkonstanten kommen die Ladung und die Masse vor. Die Ladung ist 2e, da die -Teilchen doppelt positiv geladen sind. Die Masse ist die in Aufgabe a) benutzte Heliumkernmasse.

r und B sind Messgrößen.

d) Die maximale kinetische Energie der Teilchen beträgt 5,5 MeV.

e) Der -Zerfall ist als unelastischer Stoß zu betrachten, es gilt der Impulserhaltungssatz. Vor dem Stoß ist der Impuls der beiden noch zusammenhängenden Teilchen Null. Damit muss der Gesamtimpuls nach dem Zerfall ebenfalls Null sein.  


Die wegfliegende Heliumkern (a-Teilchen) hat eine Energie von 5,50 MeV, damit muss der Urankern mit einer Geschwindigkeit fliegen, die einer kinetischen Energie von 0,09 MeV = 90 keV entspricht. Kennt man die Geschwindigkeiten der beiden Teilchen, kann man überprüfen, ob obige Gleichung erfüllt wird.



Damit wird



Da die Kerne in entgegen gesetzte Richtungen fliegen, setzt man an Stelle des + ein - ein:  


Da nichtrelativistisch gerechnet wurde, erhält man als Gesamtimpuls ungefähr Null. Damit trägt der Urankern die fehlende Energie weg.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a165)

166.

a) 

b) Es muss die Differenz aus der Masse der Endprodukte und der Masse des Ausgangskernes gebildet werden. Dieser Massendefekt entspricht einer Energie.  
Masse des Radiumkernes: 226,02544u

Masse des Radonkernes: 222,01761u

Masse des Alpha-Teilchens: 4,002602 u

Summe dieser beiden Massen: 226,020212 u

Massendefekt: 0,005228 u

Umrechnung in einen Energiewert:



c) Es wird durch den Zerfall mehr Energie frei, als das Alpha-Teilchen mit sich trägt. Die Differenz steckt im Gamma-Quant und in der kinetischen Energie des Radon-Kernes, der durch den Zerfall in die entgegen gesetzte Richtung fliegt.

167. In jeder Sekunde müssen 17 Schichten angelagert werden.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a167)

168. Nach dem klassischen Teilchenmodell sind Interferenzerscheinungen bei Elektronen nicht möglich. Im Quantenmodell kann einem Teilchen aber auch eine Welle zugeordnet werden, so dass es zu Interferenzen kommen kann.

Klassisch Teilchen würden sich wie Kugeln verhalten. Interferenz bedeutet, dass es zu Verstärkungen und Auslöschungen kommt. Das ist mit Kugeln nicht möglich.

Der Doppelspalt ist breit.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a168)

169.

a) -Strahlung besteht aus Elektronen, die beim Zerfall eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron aus dem Kern heraus geschleudert werden. Damit bleibt die Massezahl des Kerns konstant und die Kernladungszahl erhöht sich um eins. Es entsteht ein Schwefelisotop.



Nach 35 Tagen sind von dem Phosphor-Isotop noch 0,183 g vorhanden.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a169)

170.

1. Welches natürliche Uranisotop wird für Kernspaltungen in Reaktoren verwendet?

Uran-234 🞏

Uran-235 ☒

Uran-238 🞏

2. Was versteht man unter angereichertem Uran?

Dem Uran werden Neutronenquellen beigemischt 🞏

Der Anteil an spaltbarem Uran wird erhöht ☒

Dem Uran wird Barium beigemischt 🞏

3. Was geschieht mit einem Urankern bei der Spaltung?

Zerfall in 2 Trümmerkerne und Neutronen ☒

Zerfall in 3 Trümmerkerne 🞏

Zerfall in Protonen und Neutronen 🞏

4. Was ist die kritische Masse eines spaltbaren Materials?

Die kleinste Masse, bei der eine Kettenreaktion aufrecht gehalten werden kann ☒

Die Masse an spaltbarem Material, die zum Betrieb eines Kernkraftwerkes notwendig ist 🞏

Die Masse an spaltbarem material in einem Urangemisch 🞏

5. Durch welche Neutronen wird natürliches, spaltbares Uran am effektivsten gespalten?

Langsame Neutronen ☒

Mittelschnelle Neutronen 🞏

Schnelle Neutronen 🞏

6. Wie nennt man den Stoff, der in einem Reaktor die Neutronen gezielt abbremst?

Spaltstoff 🞏

Moderator ☒

Reflektor 🞏

7. Welcher Stoff wird bei den meisten deutschen Reaktoren als Moderator eingesetzt?

Wasser ☒

Kohlenstoff (Graphit) 🞏

Bor 🞏

8. In einem Leichtwasserreaktor kann es zu keiner unkontrollierten Kettenreaktion kommen, weil bei einem zu starken Temperaturanstieg das Wasser verstärkt verdampft und dann

der Wasserdampf die Kernspaltung löscht 🞏

der Wasserdampf die Neutronen verstärkt absorbiert 🞏

pro Volumeneinheit nicht mehr genug Wasser zum Abbremsen der Neutronen vorhanden ist ☒

9. Welcher Stoff wird bei den meisten deutschen Reaktoren als Kühlmittel eingesetzt?

Heliumgas 🞏

Natrium 🞏

Wasser ☒

10. Wodurch unterscheiden sich Druckwasserreaktor und Siedewasserreaktor hauptsächlich?

Art des Kühlmittels 🞏

Material der Steuerstäbe 🞏

Anzahl der Kühlkreisläufe ☒

11. Warum ist der Luftdruck im Reaktorgebäude etwas niedriger als der äußere Luftdruck?

Es ist für das Bedienpersonal angenehmer 🞏

Die Gebäudewände brauchen dann nur einem geringeren Druck standzuhalten 🞏

Bei Undichtheiten kann keine Gebäudeluft nach außen gelangen ☒

12. Mit welchem Namen bezeichnet man die sicherheitstechnische Mehrfachanordnung eines Systems?

Redundanz ☒

Diversität 🞏

Kritikalität 🞏

13. Warum werden ausgebrannte Brennelemente nach der Entladung aus dem Reaktor zunächst in einem Wasserbecken des Kernkraftwerkes gelagert?

Sie müssen vor dem Abtransport gründlich gereinigt werden 🞏

der Transport wird häufig von Kernkraftgegnern blockiert 🞏

Die Spaltprodukte mit kurzen Halbwertszeiten zerfallen in dieser Zeit fast vollständig ☒

171. Die Bleiabschirmung muss mindestens 9,3 cm dick sein.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#a171)

172. Die Gleichung beschreibt folgende Reaktion:

Aluminium wird mit Alphateilchen beschossen. Diese dringen in den Kern ein und wandeln ihn in einen Phosphorkern um. Bei dieser Umwandlung wird ein Neutron frei.

Der Phosphorkern ist instabil. Er ist durch den Beschuss mit dem Alphateilchen aktiviert wurden.

Seine Halbwertszeit beträgt 2,5min. Das ist sehr wenig. Nach 2,5 min sind die Hälfte aller entstandenen kerne bereits zerfallen. Dabei entsteht ein Siliziumkern und ein Positron (). Zusätzlich verlässt ein Neutrino den Kern.

Da der Phosphor eine so geringe Halbwertszeit hat, tritt es in der Natur nicht auf. Es gibt kein natürliches. Dieses Phosphor-Isotop ist ein künstlicher, radioaktiver Stoff.

173.

Der Alphazerfall lässt sich allgemein so schreiben:



Der Kern S1 zerfällt immer unter Abgabe eines Heliumkernes in einen neuen Kern S2, dessen Massezahl um 4 und Kernladungszahl um 2 vermindert ist.

Bei diesem Zerfall ändert sich die Bindungsenergie der Nukleonen. Grundsätzlich läuft der Prozess aber nur dann ab, wenn durch die Änderung der Bindungsenergien nach außen Energie abgegeben wird (exothermer Vorgang).

Die Energiebilanz berechnet sich mit der Gleichung



 ist der Massendefekt, der sich aus der Masse der Nukleonen nach dem Zerfall minus der Masse der Nukleonen vor dem Zerfall berechnet.



Damit lässt sich für die drei zu untersuchenden Kerne die Energiebilanz für einen Zerfall aufstellen.

**1. Ra-223**



**2. Tl-203**



**3. C-13**



Bei C-13 ist ein Alpha-Zerfall unmöglich, der er nur unter Energiezufuhr stattfinden könnte. Der Zerfall von TI-203 ist möglich, aber unwahrscheinlicher als der Zerfall von Ra-223.

Tatsächlich sind C-13und Tl-203 stabile Kerne und Ra-203 ein Alpha-Strahler.

174.

Zerfallsgleichung:



Die frei werdende Energie ergibt sich aus dem Massendefekt des Zerfalls. Die Summe der Massen der Teilchen nach dem Zerfall ist kleiner als die Masse des Ausgangsteilchens. Für einen Chemiker wäre das der absolute Horror, da das Gesetz der Massenerhaltung verletzt wird, aber in der Physik ist das möglich.



b)

|  |
| --- |
|  |

c) Beim Alpha-Zerfall des Bi-212 entsteht mit 69,8% Wahrscheinlichkeit ein angeregter Zustand des Tl-208. Beim Übergang des Tl-Kernes aus diesem angeregten Zustand in den Grundzustand wird ein Gamma-Quant der Energie 0,06 MeV ausgesandt. Die Wellenlänge ergibt sich aus:



175.

a) Zerfallsgleichung



b) Die Energie berechnet sich mit



Der Massendefekt ist die Differenz aus der Massen.



c)

|  |  |
| --- | --- |
|  | Das Co-60 war im Grundzustand und rutscht unter Aussendung von Elektronen entweder in den einen oder den anderen Zustand des Ni-60. Diese Zustände sind angeregt und gehen unter Aussendung von Gamma-Strahlung in den Grundzustand von Ni-60 über.  Das in der Aufgabe erwähnte Gamma-Quant entsteht wie im Schema gezeigt, da 2,82 MeV - 1,49 MeV = 1,33 MeV. |

d) Für das zweite Gamma-Quant gibt es zwei Möglichkeiten der Entstehung: vom oberen angeregten Zustand in den Grundzustand oder vom oberen angeregten Zustand in den darunter liegenden. Im ersten Fall wäre die Energie größer als 1,33 MeV. Das ist aber laut Aufgabenstellung nicht möglich, da die 1,33 MeV-Quanten die energiereicheren sind. Also geht der Kern vom oberen angeregten Zustand in den unteren angeregten Zustand über und fällt dann unter Abgabe des 1,33 MeV-Quant in den Grundzustand.

Die Energie der Gamma-Quanten beim Übergang zwischen den beiden angeregten Zuständen beträgt:

1,49 MeV - 0,32 MeV = 1,17 MeV.

176.

a) 

Thorium zerfällt unter zweimaliger Aussendung von Alpha-Strahlung über Radium zu Radon.

b) Es soll gezeigt werden, dass gilt:



Dazu stellt man die Gleichung um:



Lambda ist eine Konstante. Es muss also gezeigt werden, dass gilt:



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t in s | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|  | 40 | 35,2 | 31,2 | 27,2 | 24 | 21,2 | 18,8 | 16,4 | 14,4 | 12,8 | 11,2 |
|  | 0 | -0,13 | -0,25 | -0,39 | -,051 | -0,63 | -0,76 | -0,89 | -1,02 | -1,14 | -1,27 |

Der gesuchte Zusammenhang wird in einem Diagramm dargestellt:

|  |
| --- |
|  |
| Die Kurve ist eine Gerade und geht durch den Koordinatenursprung. Damit ist der proportionale Zusammenhang nachgewiesen.  [Excel-Tabelle](at176.xls) |

Der Wert für  ist der Anstieg der Geraden.



177.

a) Ähnlich wie ein Atom kann sich auch ein Atomkern im angeregten Zustand befinden. In den Grundzustand gelangt der Kern unter Abgabe von Gamma-Strahlung.

Nach der Aussendung von Beta-Strahlung ist der Kern meistens noch in einem solchen angeragten Zustand, so dass Beta-Strahlung häufig von Gamma-Strahlung begleitet wird.

Unterschiede der Gamma-Strahlung zur Alpha- und Beta-Strahlung:

* Elektromagnetische Strahlung
* geringeres Ionisationsvermögen
* magnetisch nicht ablenkbar
* große Reichweite in Luft

|  |  |
| --- | --- |
| b) Das Energiespektrum ist kontinuierlich. Ein großer Teil der Strahlung hat eine bestimmte Energie. Ein Teil hat eine geringere und ein anderer Teil eine größere Energie. Die Maximalenergie wird niemals überschritten.  c) Die De-Broglie-Wellenlänge berechnet sich nach    Da die Geschwindigkeit der Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit ist, muss mit der relativistischen Masse gerechnet werden: |  |

Setz man das ein, erhält man



d) Ein Proton hat einen Durchmesser von etwa. Die Wellenlänge der Elektronen der Beta-Strahlung ist viel zu groß, als dass im Kern Beugungsehrscheinungen auftreten könnten. Damit lassen sich keine Aussagen über die Struktur des Protons machen.

178.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Photonen**  Energie    Masse    Impuls | **Röntgenstrahlen**  Energie    Masse    Impuls | **Elektronen**  Energie    Masse    Impuls |

Die Werte für die Röntgenstrahlung sind größer als für das normale Licht. Klar.

Aber: Die Werte der Masse und des Impulses der Röntgenstrahlung und der Elektronen bewegen sich in den gleichen Größenverhältnissen. Das ist die Vorraussetzung für den Compton-Effekt.

179. d) einige 1000 C-14-Atome zerfallen pro Sekunde im Standartmenschen.

Der Körper besteht aus 14 kg Kohlenstoff. Dann sind



C-14 enthalten.

Ein Atom C-14 hat eine Masse von



Das ergibt



Von dieser gigantischen Zahl zerfällt in 5730 Jahren die Hälfte.

5730 Jahre sind



Mit der Zerfallsgleichung kann man nun berechnen, wie viele der Atome nach einer Sekunde noch vorhanden sind. Die meisten Taschenrechner werden damit überfordert sein. Der wissenschaftliche Rechner von Windows liefert ein Ergebnis.



Die Differenz dieser beiden Zahlen ergibt etwas über 2300. Das ist die Anzahl der Atome, die pro Sekunde zerfallen.

[Excel-Tabelle](at179.xls)

180. a) Bei Kernspaltungen entstehen u.a. Neutronen, die eine hohe Geschwindigkeit haben (schnelle Neutronen).

Werden diese Neutronen durch Stöße an anderen Atomen so weit abgebremst, dass sie die Geschwindigkeit von Luftteilchen bei Zimmertemperatur haben (etwa 2 km/s), nennt man sie langsame oder thermische Neutronen.

b)



c) Als erstes muss gefragt werden, wie viele Atomkerne sind in einem kg Pu-239 enthalten. Die Masse eines Kerns ist mit



bekannt. Damit sind in einem Kilogramm



Kerne.

Nun gilt laut Aufgabenstellung:



Gesucht ist die Anzahl n.

Es gilt das Logarithmengesetz:



Damit lässt sich die gesuchte Größe berechnen. Man erweitert die Gleichung für N:



und kann für die rechte Seite das Logarithmengesetz anwenden:



Nach ungefähr 120 Spaltgenerationen ist alles Plutonium gespalten.

d) Man rechnet einfach



e) Die Leistung gibt die Energie an, die in einer Sekunde abgegeben wird. Das heißt, dass das Kernkraftwerk in einer Sekunde eine Energie von 1316 MJ liefert.

Die Kernspaltung liefert pro Teilung eine Energie von 200 MeV. Das muss zuerst in J umgerechnet werden:



Diese Energie muss mit der Anzahl der vorhandenen Kerne multipliziert werden, da ja jeder Kern zerfällt. Man erhält eine Energie von



Das ist



Nun gibt die Bombe diese Energie nicht in einer Sekunde ab, sondern in einer deutlich kleineren Zeit. Die Leistung ist dann



Das ist eine Leistung, die rund



größer ist als die des Kraftwerkes.

181.

a) Reaktionsgleichung



Frei werdende Energie:



[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t181)

b) Das Schweinefleisch lagert seit etwa 50 Tagen. (sicher im Kühlhaus!)

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t181_1)

182.

a) Reaktionsgleichung:



b) Pro Spaltvorgang werden 172 MeV Energie frei. Für 1 kWh sind 131 Billiarden Spaltvorgänge notwendig. Dabei werden 51 µg Uran gespalten.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t182)

183. Die de-Broglie-Wellenlänge berechnet sich nach der bekannten Gleichung:



Die Geschwindigkeit berechnet sich über den Energieerhaltungssatz. Die kinetische Energie der Elektronen ist nach dem Durchlaufen der Beschleunigungsspannung gleich der Energie des elektrischen Feldes:



und eingesetzt:



Damit lässt sich der Abstand der Interferenzstreifen berechnen:



Da der Abstand zwischen zwei Interferenzstreifen gesucht ist, kann k=1 gesetzt werden.



184. a) Die Energiebilanz ergibt sich aus der Energie des Ausgangskernes minus der Energie der Endteilchen, also einfach Energie vorher minus Energie nachher.

Dazu muss zuerst die Zerfallsgleichung aufgestellt werden:



Im Kobaltkern zerfällt ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Das Elektron verlässt den Kern, das Proton bleibt drin. Damit bleibt die Massezahl konstant, die Kernladungszahl erhöht sich aber um eins.

Das Antineutrino dient dem Ausgleich der Energie.

Die Energie der Kerne ist allgemein:



Die Energiebilanz ist dann also:



Die Masse des Elektrons ist gegenüber den anderen Kernbausteinen so verschwindend gering, dass sie vernachlässigt werden kann.



b) Im Idealfall trägt das herausfliegende Elektron die Maximalenergie, die bei dem Zerfall frei wird. Ansonsten wird der Rest der Energie von dem Antineutrino weggetragen. Im Endeffekt verliert der Kern aber immer die Energie, die der Maximalenergie der Elektrons entspricht.

Damit können die drei Anregungsenergien des 60Ni berechnet werden. Der Unterschied zwischen dem Niveau Kobalt und Nickel beträgt wie in der Aufgabe a) berechnet 2,824 MeV. Wird ein Elektron mit der Maximalenergie von 318 keV herausgeschleudert, sinkt die Energie des Kobalt genau um diesen Wert. Danach befindet sich der Kern im angeregten Zustand und gibt die Restenergie bis zum Grundzustand (Nickel) in Form von Gammastrahlung ab.

|  |  |
| --- | --- |
| Anregungsenergien: |  |

Die farbig gezeichneten Übergänge werden in Form von Gamma-Quanten ausgesandt. Der Übergang mit der kleinsten Energiedifferenz entspricht der Strahlung mit der größten Wellenlänge, hier also von E3 zu E2:



c) Das Elektron mit seiner Masse wird mit einer Geschwindigkeit aus dem Kern herausgeschleudert. Es besitzt jetzt zwei verschiedene Energien: einmal die auf Grund seiner Eigenmasse (Ruheenergie) und zum anderen die auf Grund des Energieverlustes des Kobalt-Kernes durch das Herausschleudern des Elektrons.

Es gilt also:



Die kinetische Energie entspricht für das schnellste Elektron dem größten Energieverlust des Kobalt-Kernes, also 1,491 MeV. Die eigene Energie des Elektrons berechnet sich mit der Einstein-Gleichung:



Wenn man nun nach der Gleichung für die kinetische Energie die Geschwindigkeit berechnet, erhält man einen Wert, der deutlich über der Lichtgeschwindigkeit liegt. Man muss berücksichtigen, dass die Masse des Elektrons mit der Geschwindigkeit größer wird und damit relativistisch gerechnet werden muss.

Die Masse berechnet sich nach



v ist die gesuchte Geschwindigkeit. Die Energie ist

 oder



Damit kann man schreiben:



Der Wert

 entspricht genau der Ruheenergie des Elektrons, also E0.



Damit kann man umstellen:



Damit kann die Geschwindigkeit im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit berechnet werden.



Das heißt, die Geschwindigkeit der Elektronen erreicht 96,7% der Lichtgeschwindigkeit.

d) Die Energiedosis ist die je Masse durch radioaktive Strahlung übertragene Energie:



Es lässt sich also die Energie berechnen, die für diese Bestrahlung notwendig ist:



Da nur 0,50% der eingestrahlten Energie wirklich genutzt werden, ist die notwendige Energie um den Faktor 200 höher:



Die Energie, die jeder einzelne Zerfall freisetzt, ist in a) mit 2,824MeV berechnet wurden. Die Frage ist, wie viele solcher Zerfälle sind notwendig, um die Energie von 360 J zu erreichen?



Es müssen also insgesamt  Atome zerfallen, um die Strahlendosis zu erzeugen.

e) Jetzt ist noch die Frage, wie viel Atome müssen bereitgestellt werden, damit in den 15 Minuten genau diese Atomanzahl zerfällt.

Aus der Halbwertszeit weiß man, dass von einer bestimmten Menge Atome in 5,3 Jahren genau die Hälfte zerfallen würde. Es gilt das Zerfallsgesetz:



N ist die nach der Zeit t noch vorhandene Anzahl an Kernen, also die, die noch nicht zerfallen sind. Es sind aber aus Antwort d) die Anzahl der Kerne bekannt, die in der zeit t zerfallen. Das sind aber auch

,

also die Anzahl zu Beginn der Bestrahlung minus die Anzahl nach der Bestrahlung.

Das Zerfallsgesetz kann eingesetzt werden:



In diese Gleichung kann nun eingesetzt werden. die Zeiten müssen in Sekunden umgewandelt werden!



Das ist die Anzahl der Teilchen, die zur Verfügung stehen müssen. Mit der in der Aufgabenstellung gegebenen Atommasse kann die Masse des Präparates berechnet werden:



185.

1. 

2. 

3. 

186. Von dem Gold-Isotop zerfällt in 58 Stunden jeweils die Hälfte der vorhandenen Kerne.

[vollständige Lösung](vlsgatom.docx#t186)

187. a) Wenn das Photon auf das Material trifft, muss es soviel Energie besitzen, dass es gerade die Austrittsarbeit verrichten kann. Die Energie des Photons ist



Die Frequenz ist die des gesuchten Lichtes und hängt mit der Wellenlänge über die Lichtgeschwindigkeit zusammen:



und eingesetzt:



Nach der gesuchten Wellenlänge umgestellt:



Damit kann die gesuchte Wellenlänge berechnet werden. Zuvor muss die gegebene Austrittsarbeit noch in Joule umgerechnet werden: 



b) Das ist Licht aus dem infraroten Bereich. (eben Nachtsichtgerät)

c) Wenn das Photon auf die Fotozelle trifft, wird es vernichtet und gibt seine gesamte Energie an ein Elektron ab. Ein Teil der Energie wird zum Herauslösen des Elektrons aus dem Metall verwendet. der Rest dient dann dazu, das Elektron zu beschleunigen.

d) Die Geschwindigkeit der Elektronen lässt sich über die kinetische Energie bestimmen, mit der sie nach dem Herauslösen die Metalloberfläche verlassen. Dazu wird wieder die Energiebetrachtung herangezogen:



Die kinetische Energie ist



Da steckt nun auch die gesuchte Geschwindigkeit drin. Also Einsetzen und Umstellen:



Die Photonenenergie erhält man aus der gegebenen Wellenlänge des roten Lichtes:



Die Elektronen verlassen die Katode mit 525 km/s.

188.

**a)** Aus der Nuklidkarte ist zu entnehmen, dass Tl-206 ein -Strahler. Damit ergibt sich die Zerfallsgleichung:



**b)** Die Anzahl der Kerne berechnet sich aus der Gesamtmasse durch die Anzahl der Masse eines Kerns:

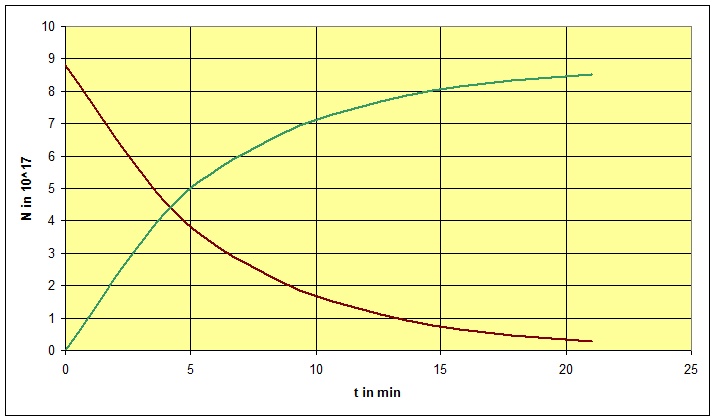


Aus der Nuklidkarte entnimmt man die Halbwertszeit von 4,2 min. Damit ist der Zerfallsprozess für 21 min zu zeichnen.

Es werden die Anzahl der noch vorhandenen Kerne nach jeweils 4,2 min berechnet. Das ist nicht schwer, da ja in dieser Zeit immer die Hälfte der vorhandenen Kerne zerfällt.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t in min | 0 | 4,2 | 8,4 | 12,6 | 16,8 | 21,0 |
| vorhandene Kerne in | 8,8 | 4,4 | 2,2 | 1,1 | 0,55 | 0,28 |
| zerfallene Kerne in | 0 | 4,4 | 6,6 | 7,7 | 8,25 | 8,52 |

[Diagrammquelle](a188.xls)



**c)** Es muss das Verhältnis der vorhandenen Kerne zu Ausgangsanzahl nach 3 min berechnet werden:



Nach 3 min sind noch 61% der Thalliumkerne vorhanden.

189. b) Quelle 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Jahr | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Quelle 1 | 2 |  |  |  |  |
| Quelle 2 | 1 |  |  |  |  |

Zu Beginn ist Quelle 1 deutlich stärker als Quelle 2. Aber bereits nach einem Jahr sind beide Quelle gleich stark. Nach 4 Jahren ist der Quelle 1 schon ziemlich die Puste ausgegangen.

190.

-Strahlung besteht aus Elektronen, die mit verschiedenen Energien (Geschwindigkeiten) aus dem Kern austreten.

Damit die Spuren auf Grund der geringeren Ionisationsfähigkeit dünner.

Durch die deutlich geringere Masse und die halb so große Ladung sind sie stärker gekrümmt.

Die Länge und der Krümmungsradius ist unterschiedlich, da die Energie der Elektronen unterschiedlich ist.

191.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: |  |
| Lösung: | a) Reaktionsgleichung:  b) Berechnung des Massendefektes: Der Massendefekt ist die Differenz der Masse der Ausgangsprodukte und der Masse der Endprodukte. Ausgangsprodukte:  Endprodukte:  c) Die Gesamtmasse der Endprodukte ist etwas geringer als die Masse der Ausgangsprodukte. Die Massendifferenz (Massendefekt) wurde in Energie umgewandelt und abgegeben.  Damit lässt sich die Energie berechnen: | | |
| Antwort: | Der Massendefekt beträgt 3,711 \* 10-28 kg. Das entspricht einer Energie von 208 MeV. | | |

d)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| geg.: |  | ges.: | m |
| Lösung: | Eine Energiebetrachtung führt zu einem Lösungsansatz:  Die Energie, die bei der Spaltung aller Teilchen, die in einem Kilogramm Uran sind, erwärmt zuerst das Wasser von 90°C auf 100°C. Dann wird das Wasser in Dampf umgewandelt, wobei wieder Energie benötigt wird. Anschließend wird der Wasserdampf vom 100°C auf die Endtemperatur von 450°C erwärmt. Da das im Kernreaktor abläuft, bleibt das Volumen der Wassermenge konstant.  1. Wie viel Energie kann ein Kilogramm Uran bei der vollständigen Spaltung freisetzen?  Anzahl der Urankerne:    Diese Anzahl wird mit der Energie einer Spaltung multipliziert und man erhält    2. Jetzt zur Masse des Wasserdampfes. Die Energiebilanz sieht so aus:    E ist die Energie der Uranspaltung, E1 die Energie zum Erwärmen des Wassers bis auf Siedetemperatur, E2 die Verdampfungswärme und E3 die Energie zur Erwärmen des Wasserdampfes. | | |
| Damit erhält man  Die Masse m ist die gesuchte Masse des Wasserdampfes. Umgestellt erhält man    und eingesetzt: | | |
| Antwort: | Mit der Energie, die bei der Spaltung der Kerne aus einem Kilogramm Uran frei wird, kann man 30,7 kt Wasserdampf erzeugen. | | |

192. Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne je Sekunde zerfallen, in dieser Quelle also 800 Millionen.

Die Halbwertszeit von 13,2 Stunden besagt, dass nach dieser Zeit die Hälfte der am Anfang vorhandenen Kerne zerfallen ist. Damit ist dann auch die Aktivität nach dieser Zeit auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes.

Aus der Halbwertszeit lässt sich die Zerfallskonstante bestimmen. Es gilt



Die Zerfallskonstante sagt aus, mit welcher Wahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit ein Atomkern in dieser Zeit zerfällt.

Zwischen der Aktivität und der Zerfallskonstante gilt für einen beliebigen Zeitpunkt t



N ist die zum Zeitpunkt t vorhandenen Gesamtanzahl von Kernen.

Damit lässt sich nun die Anzahl der Jod-123 Kerne bei der Herstellung der Quelle, also zum Zeitpunkt 0, berechnen:



oder mit der Halbwertszeit:



Da die Einheit Becquerel die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde angibt, müssen die 13,2 Stunden noch in Sekunden umgerechnet werden:



Das ist die Anzahl der Atomkerne zum Zeitpunkt Null.

Welche Masse haben die nun?

Ein Iodkern hat die Masse 122,9u, also 122,9 mal die atomare Masseneinheit.

Damit hat ein Kern die Masse



Das wird mit der Anzahl der Atomkerne multipliziert:



[Excel](at192.xls)

193. Ein Li-6-Atom besteht aus 3 Protonen und 3 Neutronen, die sich im Kernbereich aufhalten. Um diesen Kern herum bewegen sich drei Elektronen.

Lithium tritt in der Natur in zwei Formen auf: Li-6 und Li-7. Beide Kerne haben 3 Protonen, Li-6 hat 3 Neutronen und Li-7 hat 4 Neutronen.

Chemisch sind die beiden Isotope gleich, physikalisch unterscheiden sie sich.

194. Im Atomkern wirken zwei Kräfte:

* abstoßende Kräfte zwischen den positiven Protonen, eine weit reichende Kraft (elektrostatische Kraft)
* anziehende Kräfte zwischen allen Teilchen im Kern (Nukleonen), eine kurz reichende Kraft (starke Kernkraft)

Der stabile Kern ist im Kräftegleichgewicht. Die abstoßenden Kräfte würden den Kern auseinandersprengen. Die starke Kernkraft ist dazu eine Gegenkraft, die die Protonen zusammenhält.

195. U-234

* 92 Protonen und 142 Neutronen im Kern
* 92 Elektronen in der Hülle
* mit der Erde entstanden
* radioaktiv, Alpha-Strahler
* Halbwertszeit: 2,4∙105 Jahre
* ist im natürlichen Isotopengemisch zu 0,0055% vertreten.

196.

Polonium ist ein Alpha-Strahler



Blei ist ein Beta-Minus-Strahler



Im Blei-Kern zerfällt ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Dabei entsteht noch ein Elektron-Antineutrion.



197.

|  |  |
| --- | --- |
| In Excel wird die Tabelle grafisch dargestellt und die Zerfallsgleichung bestimmt (Trendlinie)  Sie lautet:    Dabei ist der erste Wert etwa die Anfangsanzahl von Teilchen und der Wert 0,0124 s­-1 die Zerfallskonstante.  Die gesuchte Halbwertszeit ergibt sich dann aus |  |

Radon-220 hat eine Halbwertszeit von 55,9 s.

Da am Anfang 2,4 ⋅ 1015 Kerne vorhanden waren, sind 3,6 ⋅ 1014 Kerne 15% davon. Aus dem Zerfallsgesetz lässt sich die gesuchte Zeit bestimmen:



Wird die Regression mit einem grafischen Taschenrechner durchgeführt (z.B. TI nspire), erhält man als Gleichung



Die erste Zahl stellt wieder die Anzahl der Kerne zu Beginn dar. Der zweite Faktor ist gleich



Also kann man schreiben:



Die Gleichung sieht dann wieder aus wie oben.

Aktivität:

Die Gleichung



besagt, dass die Aktivität A die erste Ableitung von N nach der Zeit darstellt.

Von N weiß man, dass gilt:



Also wird von dieser Gleichung die erste Ableitung nach der Zeit gebildet.



(Kettenregel!)

Damit steht da



Der erste Teil ist N und das negative Lambda wird durch das Minus wieder positiv:



Die Aktivität ist dann



**198.** Der radioaktive Zerfall lässt sich mit der Zerfallsgleichung



beschreiben.

Aus der Aufgabenstellung ergibt sich:



Damit lässt sich die Zerfallskonstante  bestimmen:



Mit diesem Wert kann die gesuchte Zeit bestimmt werden:



199.

a) Rutherford hat die dünne, nur wenige Atome dicke Goldfolie, mit sehr kleinen, positiv geladenen Teilchen beschossen. Durch Messungen der Anzahl der Teilchen um die Goldfolie herum konnte der Weg der Alpha-Teilchen nach dem Kontakt mit der Folie weiter verfolgt werden.

Bei einer kontinuierlichen Verteilung der Materie wie z.B. in einem Schwamm müssten alle Teilchen wenig oder gar nicht abgelenkt durchfliegen.

Da einige wenige Teilchen aber eine gewaltige Richtungsänderung erfahren haben, muss es im Atom kleine Gebiete geben, die völlig anders aufgebaut sind als der Rest.

b) Aus der äußerst geringen Anzahl an zurück gestreuten Teilchen lässt sich deuten, dass diese Gebiete, die die Flugbahn beeinflussen, sehr klein sind. Da die Teilchen weit von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, müssen diese Gebiete sehr kompakt sein, also eine sehr große Dichte besitzen.

200. Wenn man annimmt, dass das Elektron aus dem Unendlichen kommt, kann man

 setzen. Das sind jeweils die Photonen mit der größten Energie, also der kleinsten Wellenlänge.

Die größten Wellenlängen berechnen sich aus dem Sprung von der darüberliegenden Schale.

Damit kann man die Wellenlängenbereiche für die einzelnen Serien berechnen.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Serie | kleinste Wellenlänge | größte Wellenlänge | Bereich |
| Lyman | 91 nm | 121 nm | Ultraviolett |
| Balmer | 364 nm | 656 nm | sichtbar |
| Paschen | 820 nm | 1875 mn | Infrarot |
| Bracket | 1458 nm | 4050 nm | Infrarot |

**201.** a) Spektrum 1 gehört zum unbeschichteten Teil.

Die unbeschichtete Leuchtstofflampe sendet ein Linienspektrum aus, das hauptsächlich um blauen und ultravioletten Teil leuchtet.

Die Leuchtschicht macht dann daraus sichtbares Licht. Das Spektrum enthält dann neben den Linien auch einen kontinuierlichen Anteil bis in den roten Teil des Spektrums hinein.

202.

|  |  |
| --- | --- |
| Atomkerne bestehen aus Protonen und Neutronen, zusammen als Nukleonen bezeichnet.  Protonen stoßen sich auf Grund ihrer Ladung ab. Kommen sie aber ganz eng zusammen, wirkt die starke Kernkraft, die sie zusammenhält.  Zwischen allen Nukleonen wirkt diese sehr starke Kraft, die aber eine sehr kurze Reichweite hat.  Sollen zwei Nukleonen wieder getrennt werden, muss Energie aufgebracht werden, um diese starke Kernkraft zu überwinden. |  |

Das heißt, Nukleonen, die in einem Kern wohnen, haben eine kleinere Energie als frei lebende Nukleonen.

Die Energie, mit der die Nukleonen im Kern gehalten werden ist von der Größe des Kerns abhängig. Bei kleinen Kernen ist diese Bindungsenergie je Nukleon kleiner als bei mittleren Kernen. Am stärksten halten die Nukleonen des Eisens zusammen. Dort besitzen die Nukleonen im Vergleich zu ihren frei lebenden Geschwistern die wenigste Energie.

Bei größeren Kernen ist der Zusammenhalt auch wieder schwächer als bei mittleren Kernen.

Setzt man die Energie eines freien Nukleons als Null an, haben die Nukleonen in den Kernen kleinere Energie, also negative Werte. Deshalb verläuft die Kurve im 4. Quadranten.

Bei der Kernfusion werden Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern miteinander verschmolzen. Die Nukleonen im Heliumkern sind aber stärker gebunden als die Nukleonen im Wasserstoffkern. Bei der Verschmelzung verliert also jedes Nukleon etwas an Energie nach außen.

Diese Energie ist es, die die Sonne seit 5 Mrd. Jahren am Leuchten hält.

Da die Abneigung der Wasserstoffkerne untereinander sehr groß ist, gelingt auf der Erde die kontrollierte Fusion von Wasserstoff noch nicht. Man arbeitet aber daran und seit etwa 50 Jahren ist klar, dass man etwa noch 50 Jahre benötigt, um alle Probleme zu beseitigen.

Die bei einer Kernfusion frei werdende Energie kann man aus der Massenbilanz berechnen. Wie viel Masse verschwindet bei der Reaktion von Wasserstoff zu Helium?

Ausgangsstoffe:



Endstoffe.



Damit sind  Masse in Energie umgewandelt worden. Das erfolgt nach der Gleichung



 ist der Massendefekt, also die eben berechnete verlorene Masse und c die Lichtgeschwindigkeit.

Man erhält eine Energie von



Das ist sehr wenig, wird aber durch die große Anzahl von Kernen, die an einer Kernfusion beteilig sind, in der Summe sehr groß.

203.

a) 

b)



Das Positron entsteht durch den Zerfall eines Protons:



Die Positronen haben unterschiedliche Energien, der Kern verliert aber immer die gleiche Energiemenge Das Neutrino trägt die fehlende Energie.

c) Gemeinsamkeit: Energiereiche (ionisierende) Strahlung aus dem Atomkern.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Alpha | Beta | Gamma |
| Teilchenstrahlung | | elektromagnetische Strahlung |
| sehr geringe Reichweite | geringe Reichweite | hohe Reichweite |
| Ablenkung im Magnetfeld möglich | | keine Ablenkung im Magnetfeld |
| sehr gefährlich | gefährlich | |
| mit Kernumwandlung verbunden | | entsteht, wenn ein Kern in einen energiearmen Zustand übergeht |
|  |  |  |

d) Wenn die Aktivität um höchstens 10% abnehmen darf, dürfen in der gesuchten Zeit maximal 10% der radioaktiven Teilchen zerfallen. Das heißt, dass von den ursprünglichen 100% F-18-Isotope noch 90% vorhanden sein müssen.

Zwischen der ursprünglichen Anzahl der Kerne, der Zeit und der nach dieser Zeit noch vorhandenen Atome besteht der Zusammenhang:



Mit



wird daraus



Diese Gleichung muss nach der Zeit umgestellt werden:



Für den Quotienten aus N und N0 setzt man 0,9 ein und erhält eine Zeit von 16,7 min.

e) Das Positron ist das Gegen- oder Antiteilchen zum Elektron. Beide besitzen die gleiche Masse, aber entgegen gesetzten Ladungen.

Treffen beide zusammen, zerstahlen sie vollständig in elektromagnetische Strahlung. Diese tritt in Form von 2 Gammaquanten auf, die in entgegen gesetzte Richtungen davonfliegen (wenn der Impuls der beiden Teilchen vor der Zerstrahlung praktisch Null war).

Die Masse der beiden Teilchen wird bei der Zerstrahlung in Energie umgewandelt. Da die Massen der beiden Teilchen gleich groß sind, steht jedem Gammaquant die Energie eines zerstrahlten Teilchens zur Verfügung. Die Energie berechnet sich nach der Gleichung

 und ergibt die gewünschten 511 keV.

Nebenbei: Diese beiden Gammaquanten können registriert werden. Betrachtet man den Körper von verschiedenen Seiten und registriert jeweils die Quanten, kann man eine Aussage über den Entstehungsort machen.

204. Atome nehmen Energie nur in bestimmten Portionen auf (gequantelt). Wenn die Elektronen die entsprechende kinetische Energie haben, erfolgen die Stöße zwischen Elektronen und Atomen unelastisch. Die Elektronen geben ihre gesamte Energie an die Atome ab.

Diese gehen dadurch in den angeregten Zustand über. Das heißt, ein Elektron der Außenhülle springt auf eine höhere Bahn.

Dort verweilt es eine kurze Zeit, um dann unter Abgabe eines Photons in den Grundzustand zurückzugehen. Dieses Photon hat dann die Wellenlänge von 253 nm.

Die Energie, die bei der Wechselwirkung übertragen wird, entspricht genau der Energie der Photonen, die die Atome beim Übergang in den Grundzustand abgeben.

Die Energie eines Photons ist



Mit dem Zusammenhang zwischen Frequenz, Wellenlänge und Lichtgeschwindigkeit



wird daraus



205. a) Gegenspannungsmethode: Die herausgelösten Elektronen werden mit einer Gegenspannung abgebremst. Die Menge der Elektronen, die noch die negativ geladenen Elektrode erreichen, wird mit einem Strommesser gemessen.

Wenn die Stromstärke Null ist, ist die Energie des elektrischen Feldes genau so groß wie die Energie der schnellsten Elektronen.

Damit kann die kinetische Energie der schnellsten Elektronen bestimmt werden.

b) Die gegebenen Messwerte stellen die Einstein-Gerade dar. Der Anstieg ist das Plancksche Wirkungsquantum und der Schnittpunkt mit der y-Achse die Ablösearbeit.

Mit Hilfe eines grafischen Taschenrechners lässt sich eine lineare Regression durchführen. Sie liefert mit den gegeben Werten



Die Einsteinsche Gleichung sieht dann so aus:



Der Wert -2,062 entspricht dem Schnittpunkt mit der y-Achse und damit der Ablösearbeit. Der Wert hat die Einheit eV, was sich über die Elementarladung in

 umrechnen lässt.

ist das Plancksche Wirkungsquantum, das noch in eine übliche Einheit umgerechnet werden muss.



206.

a) Die -Strahlung wird nach rechts abgelenkt. Sie besteht aus negativ geladenen Elektronen. Mit der Linke-Hand-Regel lässt sich bestimmen, dass das Magnetfeld senkrecht in die Medaille hineingehen muss. Beim Betrachter ist der Nordpol des Feldes.

b) -Strahlung besteht im Gegensatz zu den beiden anderen Strahlenarten nicht aus geladenen Teilchen, sondern aus elektromagnetischer Strahlung. Diese lässt sich von einem Magnetfeld nicht beeinflussen und geht gerade weiter.

c) -Strahlung besteht aus zweifach positiv geladenen Atomkernen (Heliumkerne). Durch die zweifache Ladung spüren die Teilchen im Magnetfeld zwar eine größere Kraft als die Elektronen, da sie aber deutlich schwerer sind, werden sie nicht so stark abgelenkt.

207.

**a)** Der radioaktive Zerfall lässt sich mit der Gleichung



berechnen. N ist die nach der Zeit t von der ursprünglichen Menge N0 noch vorhandene Menge an radioaktiven Teilchen.

Es wird nun gefragt, nach welcher Zeit die radioaktive Menge um 70% abgenommen hat. Das ist dasselbe, als wenn man fragt, nach welcher Zeit noch 30% der ursprünglichen Menge vorhanden sind. 30% sind aber auch 0,3 von einem Ganzen, also von 1.

Damit kann man das Zerfallsgesetz so schreiben:



Zum Berechnen der Zeit t werden beide Seiten logarithmiert:



und unter Anwendung eines Logarithmengesetzes wird dann



Das lässt sich nach t umstellen:



Nach 52,4 Jahren sind 70% des radioaktiven Cäsiums zerfallen. Das das Unglück in Jahre 1986 war, ist das im Jahr 2038 erreicht.

**b)** Da die Aktivität auf einem Quadratmeter bekannt ist und man auch weiß, wie viel Zerfälle ein Gramm Cs-137 pro Sekunde hat, kann man die Menge von Cs-137 auf einem Quadratmeter berechnen.

1 Gramm verhält sich zu der Aktivität von einem Gramm wie die gesuchte Menge zur Aktivität von einem Quadratmeter:



Ein Quadratmeter wurde mit dieser kleinen Menge belastet.

Der Bayrische Wald nimmt eine Fläche von 243 km² ein. Das sind



Damit ergibt sich eine Gesamtmenge von



Das ist eine ausgesprochen kleine Menge.

**208.**

🞎 Die Energie 10,2 eV ist auf jeden Fall ausreichend, um ein Wasserstoffatom zu ionisieren.

🞎 Ein Photon der Energie 3,4 eV kann von einem Wasserstoffatom im Grundzustand absorbiert werden.

🗷 Wasserstoffatome, in denen sich die Elektronen auf dem Energieniveau ­− 0,54 eV befinden, können Photonen im Bereich des sichtbaren Lichts emittieren.

🗷 Elektronen, die eine Beschleunigungsspannung von 10,5 V durchlaufen haben, können Wasserstoffatome im Grundzustand anregen.

🞎 Wasserstoffatome können keine Quanten im ultravioletten Spektralbereich emittieren.

🞎 Das Spektrum des angeregten atomaren Wasserstoffs ist grundsätzlich kontinuierlich.

209.

**a)** Gammastrahlung ist im Gegensatz zu Alpha- und Betastrahlung eine elektromagnetische Wellenstrahlung. Die anderen beiden radioaktiven Strahlungen sind Teilchenstrahlung.

Für eine elektromagnetische Wellenstrahlung gilt



nach der Frequenz umgestellt ist das



E ist die Energie des Quants und h das Plancksche Wirkungsquantum.

Die Energie, die in keV gegeben ist, muss noch in Joule umgerechnet werden.

Es gilt



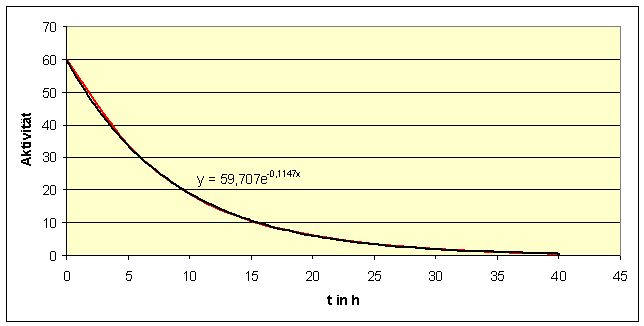
Also sind



Damit lässt sich die gesuchte Frequenz berechnen:



**b)**



Die Messwerte werden grafisch dargestellt und z.B durch ein Regression der Zusammenhang zwischen der Aktivität und der Zeit bestimmt.

Damit kann man die Zeit ermitteln, in der die Aktivität auf die Hälfte gesunken ist. Es sind 6 Stunden.

[Excel-Tabelle](at209.xls)

**c)**

Die Gleichung



besagt, dass die Aktivität A die erste Ableitung von N nach der Zeit darstellt.

Von N weiß man, das gilt:



Also wird von dieser Gleichung die erste Ableitung nach der Zeit gebildet.



(Kettenregel!)

Damit steht da



Der erste Teil ist N und das negative Lambda wird durch das Minus wieder positiv:



Die Zerfallskonstante hängt mit der Halbwertzeit über



zusammen.

Damit lässt sich die Anzahl der radioaktiven Kerne für die notwendige Aktivität bestimmen:



Die Masse eines Kernes ist bekannt.



**210.** Diagramm d)

Die Interpretation der Messwerte des Photoeffekts sieht so aus:

Ein Photon mit der Energie  trifft auf das Metall und löst ein Elektron heraus. Dazu ist eine bestimmte, materialabhängige Arbeit notwendig (Ablösearbeit). Das Photon gibt seine Energie komplett und ungestückelt an das Elektron ab.

Ein Teil davon wird zum Herauslösen benötigt. Der Rest beschleunigt das Elektron auf eine bestimmte Geschwindigkeit.

Die Energie des Photons wird also in Ablösearbeit und Beschleunigungsarbeit umgewandelt:



oder ausgeschrieben:



In dieser Gleichung sind h, WA und m konstante Naturgrößen. Damit gilt aber zwischen der Frequenz und der Geschwindigkeit der Elektronen der Zusammenhang



oder



Genau diesen Zusammenhang stellt des Diagramm d dar.

**211.**

a) Der Grund für die spektrale Zerlegung ist die Dispersion.

Geht Licht schräg von Luft in Glas über, wird es zum Lot hin gebrochen. Beim schrägen Übergang von Glas zu Luft wird es vom Lot weggebrochen.

Diese Brechung ist von der Farbe des Lichtes, also von der Frequenz des Lichtes, abhängig.

Blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes Licht.

Beim Durchgang durch ein Prisma wird ein Lichtbündel, was aus verschieden Farben besteht, in sein Farbbestandteile zerlegt.

b) Die Heisenberg’sche Unschärferelation besagt, dass sich zwei komplementäre Eigenschaften eines Quantenteilchen gleichzeitig nicht mit beliebiger Genauigkeit bestimmen lassen.

Wenn man z.B. den Impuls eines Teilchens genau angeben kann, also bei gegebener Masse eine genaue Aussage über die Geschwindigkeit machen kann, lässt sich der Ort des Teilchens nicht mehr genau angeben.

Umgekehrt kann man bei genauer Ortsangabe keine exakte Aussage über die Geschwindigkeit machen.

Bewegt sich im Wasserstoffatom ein Elektron auf einer Kreisbahn um das Proton, sollte nach klassischer Vorstellung die Radialkraft von der elektrostatischen Anziehung zwischen den beiden Teilchen aufgebracht werden. Für eine stabile Bahn ist dazu eine konstante Geschwindigkeit notwendig.

Eine Kreisbahn heißt aber, dass der Ort des Teilchens exakt bekannt ist. Damit könnte aber die Geschwindigkeit des Elektrons in einem weiten Bereich variieren.

c) Postulat: Wenn ein Elektron von einer höheren auf eine niedrige Bahn springt, gibt es Energie in Form eines Photon der Größe



ab.

Die Wellenlänge des Photons ist dann



Die Energie, die das Elektron auf der Bahn n hat, berechnet sich mit



Wenn ein Elektron nun von der 2. Bahn auf die 1. Bahn zurückspringt, ist die dabei abgegebene Energie



oder eingesetzt



Mit dieser Energie erhält man eine Wellenlänge von 121,6 nm, was im ultravioletten Bereich liegt.

Damit ist klar, dass das rote Licht bei einem Sprung auf das 1. Niveau erfolgen kann, da alle weiteren Sprünge Photonen größerer Energie und damit noch kürzerer Wellenlänge freisetzen.

Wie sieht es mit einem Sprung auf das 2. Niveau aus. Als ersten nimmt man wieder den Sprung, bei dem am wenigsten Energie frei wird, also vom 3. auf das 2. Niveau.



Dieser Energie entspricht ein Photon mit 656,4 nm Wellenlänge, was der Wellenlänge des roten Lichtes entspricht.

d) Ein Wasserstoffatom gibt ein Photon der kleinsten Wellenlänge ab, wenn ein Elektron aus der unendlichen Entfernung auf das 1. Niveau fällt.



Der hintere Ausdruck wird 0, so dass die dabei frei werdende Energie genau 13,6 eV entspricht.

Das sind 2,18 ⋅ 10-18 J. Ein Photon mit dieser Energie hat eine Wellenlänge von 91 nm, was eindeutig kleiner als 100 nm ist.

e) Eine Kreisbewegung wie z.B. des Elektrons auf seiner Bahn um den Kern ist immer eine beschleunigte Bewegung.

Begründung: Auf einer Kreisbahn ändert das Elektron ununterbrochen die Richtung der Geschwindigkeit. Eine Bewegung, bei der sich die Geschwindigkeit ändert, ist eine beschleunigte Bewegung.

Nach der klassischen Physik müsste das Elektron ständig elektromagnetische Wellen, also Energie, aussenden. Diese Energie kann das Elektron aus seiner Bewegungsenergie nehmen. Damit müsste es aber ständig langsamer werden und in den Kern stürzen.

Bohr hat deshalb postuliert, dass sich das Elektron auf seiner Bahn strahlungsfrei bewegt. Er konnte nicht erklären, warum das so ist, aber um die Stabilität des Atoms zu gewährleisten, hat er dieses Verhalten einfach angenommen.

f) Elektronen kann man sich entsprechend der Quantenphysik sowohl als Teilchen als auch als Wellen vorstellen. Ein Elektron auf seiner Bahn kann also eine Welle mit einer bestimmten Wellenlänge sein.

Weißes Glühlicht besteht aus vielen Wellen unterschiedlicher Längen. Beim sichtbaren Licht sind z.B. alle Wellenlängen zwischen 380 nm (blau) und 780 nm (rot) vorhanden.

Trifft Licht einer bestimmten Wellenlänge auf ein Elektron mit der gleichen Wellenlänge, kommt es zur Resonanz und das Elektron nimmt die Energie der Lichtwelle auf. Damit ist das Licht dieser Farbe weg, es ist durch Resonanz vom Atom absorbiert worden.

Das Elektron befindet sich jetzt in einem angeregten Zustand, den es nach kurzer Zeit wieder verlässt. Dabei gibt es eine Welle ab, die die gleiche Wellenlänge wie die vorher aufgenommen Lichtwelle hat.

Diese Welle wird in irgendeine Richtung abgegeben. In die ursprüngliche Richtung der Welle wird nur selten eine neue Welle geschickt, so dass ein Beobachter an der Stelle dieser Farbe eine dunkle Linie sieht.

**212.** Als erstes wird die Äquivalentdosisleistung berechnet. Sie gibt die Strahlendosis einer punktförmigen Strahlenquelle in einem bestimmten Abstand in einer Stunde an. Es gilt:



Alle Größen sind gegeben und es kann die Äquivalentdosisleistung berechnet werden:



Durch die beiden Abschirmung kommt aber nicht die gesamte Dosis an, sondern sie wird noch geschwächt. Die Halbwertsdicke ist die Stärke eines Materials, was die Strahlendosis auf die Hälfte schwächt. Die doppelte Halbwertsdicke schwächt demnach auf ein Viertel der ursprünglichen Dosis usw. Allgemein heißt dass, die Dosis hinter der Abschirmung ist die Dosis vor der Abschirmung vermindert um den Faktor 2 hoch einem Wert für die Dicke des Materials. Dieser Wert wird in Vielfachen der Halbwertsdicke angegeben.

Der Wert für die Dosisleistung hinter der Bleiabschirmung berechnet sich also mit



Für die Betonschicht wird die Berechnung genauso angestellt:



**213.** Die Ortsdosisleistung gibt für einen Ort die zu erwartende Äquivalentdosis in einer Stunde an. Da die Person sich an dieser Stelle 90 min, also 1,5 aufhält, beträgt die Äquivalentdosis



**214.** Es wird die Äquivalentdosisleistung berechnet. Sie gibt die Strahlendosis einer punktförmigen Strahlenquelle in einem bestimmten Abstand in einer Stunde an. Es gilt:



Alle Größen sind gegeben und es kann die Äquivalentdosisleistung berechnet werden:



**215.**

Es werden die einzelnen Dosen berechnet und addiert:



**216.** Die Dosisleistung wird mit dem Abstand zur Quelle immer kleiner. Der Zusammenhang zwischen der Dosisleistung und dem Abstand ist quadratisch:



Das heißt, dass eine Verdopplung des Abstandes die Dosisleistung auf ein Viertel senkt.

Damit gilt:



Gesucht ist die Dosisleistung .



**217.**

Der Abstand zur Quelle wird von 2,5 m auf 1,25 m verkleinert, also halbiert. Da die Dosisleistung proportional zum Quadrat des Abstandes zur Strahlenquelle ist, muss sich die Ortsdosisleistung in diesem Fall vervierfachen.

Man kann also mit 40 µSv/h rechnen.

**218.**

Zuerst wird die Ortsdosis in 2 m Entfernung ohne Abschirmung berechnet.



Die 3 cm Bleischicht können an beliebiger Stelle zwischen Quelle und Messstelle stehen. Es gilt immer:



ist die Dosisleistung mit Abschirmung, d die Dicke der Schicht und  die Halbwertsdicke. das ist die Dicke, bei der die Dosisleistung der Strahlung auf die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes geschwächt wird.



**219.** Die Aktivität wird exponentiell mit der Zeit kleiner. Nach 5,3 a ist die Aktivität der Quelle auf die Hälfte, also auf 20 GBq gesunken. Nach weiteren 5,3 a, also insgesamt nach 10,6 a beträgt die Aktivität nur noch 10GBq.

Allgemein berechnet sich die Aktivität nach



A ist die Aktivität nach der Zeit t, A0 die Anfangsaktivität und  die Halbwertszeit.

Da alles bekannt ist, kann die Aktivität nach 28 Jahren berechnet werden:



Innerhalb der 28 Jahre ist die Aktivität auf den vierzigsten Teil der ursprünglichen Strahlung abgefallen.

**220.**

Die Aktivität wird nach der Gleichung



mit der Zeit immer kleiner.

Gesucht ist die Ausgangaktivität A0, also wird die Gleichung danach umgestellt:



Da alles gegeben ist, kann die gesuchte Größe berechnet werden:



**221.** Die elektrostatische Kraft zwischen Elektron und Proton bringt die Radialkraft auf, die das Elektron auf eine Kreisbahn zwingt. Man kann schreiben:



e ist die Elementarladung. Sowohl das Elektron als auch das Proton haben ja die gleiche Ladung, die sich nur im Vorzeichen unterscheidet.

m ist die Masse des Elektrons und r der halbe Atomdurchmesser. Mit diesen Größen lässt sich die Geschwindigkeit des Elektrons berechnen.



**b)** Wenn man annimmt, dass sich das Elektron im Atom aufhält, ist die Genauigkeit seines Ortes



Es gilt nun nach Heisenberg



Damit lässt sich die Genauigkeit seines Impulses berechnen:



Aus dieser Impulsgenauigkeit lässt sich über die Elektronenmasse die Genauigkeit der Geschwindigkeit berechnen:



Damit kann die Geschwindigkeit des Elektrons im Wasserstoffatom angegeben werden



Das heißt, dass die Geschwindigkeit zwischen

 liegt.

Das entspricht einer Ungenauigkeit von rund 26%, die sich nicht aus Messfehlern ergibt, sondern aus der Eigenschaft der Elementarteilchen.

Es ist demnach nicht möglich, den Aufbau des Atoms genau zu beschreiben.

Wenn man eine genauere Angabe der Geschwindigkeit machen möchte, muss der Fehler der Ortsangabe vergrößert werden. Damit wird die Aussage über den Aufenthalt des Elektrons ungenauer.

Die Vorstellung, dass das Elektron, ähnlich wie ein Planet die Sonne, seinen Kern umkreist, ist also eine starke Vereinfachung.

**222.**

**a)** Beim Alphazerfall wird aus dem Mutterkern ein Heliumkern herausgeschleudert. Dabei wird die Kernladungszahl um 2 und die Massezahl um 4 kleiner. der Mutterkern hat also die Kernladungszahl von 226 und ist demnach Radium.



**b)** Nach der Beziehung



kann man einer Masse eine Energie zuordnen.

Beim radioaktiven Zerfall ist die Masse des Mutterkerns größer als die Masse der entstehenden Produkte. Der Radiumkern hat also eine größere Masse als die Masse von Radon und dem Heliumkern zusammen. Die fehlende Masse wird in Energie umgewandelt, die der Heliumkern als kinetische Energie wegträgt.

Die Summe der beiden Massen von Radon und dem Heliumkern ist 225,97189 u. Das ergibt eine Massendifferenz (Massendefekt) von  oder  . Das entspricht einer Energie von.

rechnet man diesen Energiewert in die für die Kernphysik übliche Einheit eV um, erhält man 4,9MeV.

c) Radioaktive Strahlung kann mit Materie wirken durch

\* Ionisation

**d)** Die Anzahl der in einer Zeiteinheit zerfallenden Kerne ist proportional zur Anzahl der Kerne:



Der Proportionalitätsfaktor ist die Zerfallskonstante 



Die Aktivität ist definiert als die Anzahl der Zerfälle je Zeiteinheit:



Damit erhält man die gesuchte Gleichung



Die Anzahl N ist die gesuchte Größe.



Die Zerfallskonstante ist



Damit erhält man

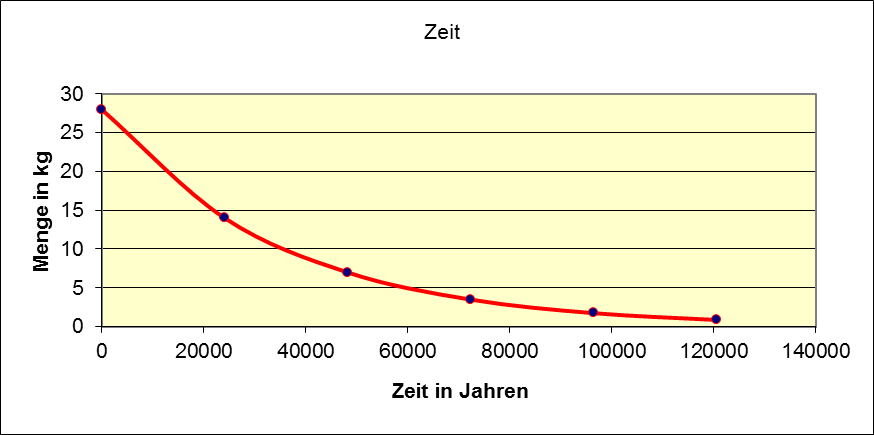


Das sind also rund 480 Millionen Teilchen in der Probe.

**223.**

**a)** 

**b)**



**c)** Allgemein gilt für einen radioaktiven Zerfall das Zerfallsgesetz:



Es wird gefragt, nach welcher Zeit noch 10% vorhanden sind. Das Verhältnis von N zu N0 ist dann also 0,1.



t ist die gesuchte Zeit, nach der umgestellt werden muss.



Für die Zerfallskonstante gilt:



Damit erhält man für die gesuchte Zeit:



Nach rund 80 000 Jahren sind 90% zerfallen und noch 10% des Plutoniums vorhanden. Das ist seeeeeehr lange.

10% der ursprünglichen Menge von 28 kg sind rund 3 kg. Im Diagramm erhält man eine ähnliche Zeit.

**224.**

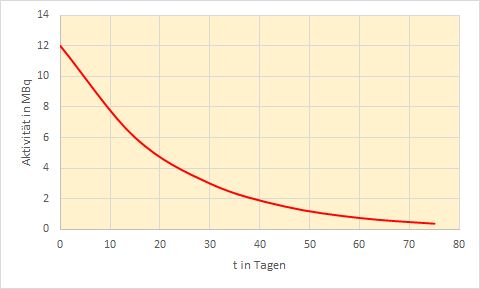
**a)** Alpha-Strahlung besteht aus dicken Heliumkernen, die bereits von dünnen Stoffen absorbiert werden. Die Alpha-Teilchen würden also gar nicht aus dem Körper austreten und eine Messung wäre nicht möglich.

Weiterhin ist Alpha-Strahlung viel gefährlicher als andere Strahlung, da sie ein hohes Ionisationsvermögen hat. damit würde die Strahlung mehr Schaden anrichten als dass sie nützlich ist.

**b)** 

**225.**

**a)**



[Diagrammquelle](at225.xlsx)

**b)**

Für 60 Tage lässt sich die Aktivität leicht berechnen. Nach dieser Zeit sind vier Halbwertszeiten vergangen. Da sich nach jeder Halbwertszeit die Aktivität halbiert, erhält man:

Nach 0 Tagen (Start) 12 MBq

Nach 15 Tagen 6 MBq

Nach 30 Tagen 3 MBq

Nach 45 Tagen 1,5 MBq

Nach 60 Tagen 0,75 MBq

Für die anderen beiden Zeitpunkte lassen sich die Aktivitäten aus dem Diagramm ablesen.

Nach 10 Tagen etwa 7,5 MBq

Nach 25 Tagen etwa 3,8 MBq.

**226.**

**a)** Kohlenstoff kommt in der Natur in zwei Formen vor: das stabile Isotop C-12 und das instabile Isotop C-14. Beides ist in einer bestimmten Zusammensatzung immer zusammen vorhanden.

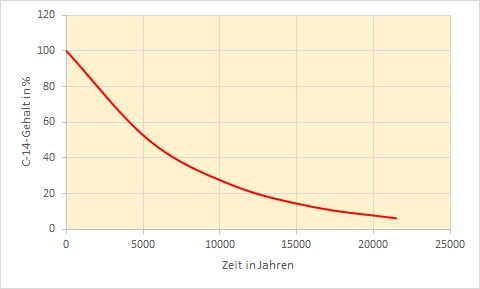
Wenn wir etwas Essen, nehmen wir immer beide Kohlenstoffarten auf. Damit ist das Verhältnis der beiden Isotope in unserem Körper immer so wie in der Natur.

Nach dem Tod essen wir nichts mehr!

Das C-12 bleibt im Körper. Aber das Isotop C-14 zerfällt und wir nicht mehr nachgeliefert. Je länger ein Organismus tot ist, umso mehr verschiebt sich das Verhältnis der beiden Kohlenstoffisotope zu Gunsten des C-12.

Mit der C-14-Methode kann also bestimmt werden, wie lange ein Organismus schon tot ist.

**b)**



**c)** Da etwas weniger als die Hälfte der C-14-Kerne zerfallen ist, starb Ötzi vor ungefähr 5300 Jahren. Da er 1991 gefunden wurde und da auch die Altersbestimmung vorgenommen wurde, ist sein Todesjahr 3300 vor Beginn der Zeitrechnung.

**d)** Die Saurier starben vor etwa 66 Millionen Jahren ausstarben, ist der Anteil an C-14-Kernen in ihren Knochen nicht mehr nachweisbar.

**227.**

**a)** Alpha-Strahlen, also dicke Heliumkerne, werden bereits von sehr dünnen Papierschichten absorbiert. Beta-Minus-Strahlung besteht aus Elektronen und durchdringt auch noch dicke Papierschichten.

Wenn also ein Alpha-Strahler zum Einsatz kommen würde, muss man eine recht starke Strahlenquelle verwenden. Und das ist nun wieder wegen dem Strahlenschutz nicht gut.

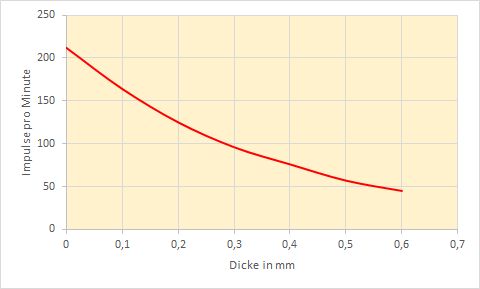
**b)** Wenn Krypton-85 unter Aussendung von Beta-Minus-Strahlung zerfällt, sendet es dabei ein Elektron aus. Da im Kern keine Elektronen sind, entsteht das beim Zerfall eines Neutrons, von denen im Kr-85-Kern 49 Stück sind. (Krypton hat die Ordnungszahl 36. Damit sind in jedem Kryptonkern 36 Protonen. Der fehlende Betrag bis zur Massezahl ist mit Neutronen aufgefüllt)



Krypton zerfällt unter Aussendung eines Elektrons in Rubidium. Gleichzeitig wird ein Elektron-Antineutrino ausgesendet, das den Energiehaushalt dieses Zerfalls ausgleicht.

**c)** Die herausgeschleuderten Elektronen reagieren mit den Atomen in der Papierschicht. Dabei verlieren die Elektronen an Energie und können hinter dem Papier nicht mehr registriert werden. Je dicker die Papierschicht ist, um so öfter stoßen die Elektronen mit den Atomen des Papiers zusammen und verlieren immer mehr Energie.

**d)**



[Diagrammquelle](at227.xlsx)

**e)** Bei einer Schichtdicke von 0,25 mm beträgt die Impulsrate etwa 105 Impulse pro Minute.

**f)** Es gilt das Zerfallsgesetz:



Die Ausgangsanzahl der Atomkerne wird mit 100% angenommen (N0). Nach der Zeit von 30 Jahren sind 86% zerfallen. Damit sind nach den 30 Jahren nur noch 14% vorhanden (N).

Gesucht ist die Halbwertszeit.

Es gilt



Die beiden Gleichungen lassen so umstellen, dass die Halbwertszeit berechnet werden kann.



Von einer bestimmten Menge Krypton-85 zerfällt in etwa 11 Jahren die Hälfte.

**228.**

**a)** 

Der Stickstoffkern wird von einem Neutron getroffen, wandelt sich in ein Kohlenstoffkern um und gibt dabei ein Proton ab.

**b)** Lebende Organismen nehmen über die Nahrung und die Atmung C-14-Isotope auf. Es stellt sich durch Aufnahme und Zerfall von C-14-Isotopen ein Gleichgewichtszustand ein, so dass deren Konzentration im Körper nahezu konstant bleibt.

Stirbt der Organismus ab, so wird die Aufnahme von C-14 gestoppt. Im Laufe der Zeit zerfallen C-14-Isotope in dem toten Organismus.

Durch Vergleich des C-14-Gehaltes bei lebenden und toten Organismen kann mit Hilfe des Zerfallsgesetzes und der Halbwertszeit das Alter einer Probe bestimmt werden.

**c)** Mit der Berechnung des Alters ist der Zeitraum gemeint, der zwischen dem Absterben des Baumes und dem Auffinden der Holzkohle vergangen ist.

Dieser Zeitraum lässt sich mit der Zerfallsgleichung berechnen.



Nun sind nicht die Anzahl der Kerne gegeben (N), sondern die Aktivitäten. Die Aktivität ist aber direkt proportional zur Kernanzahl, so dass man schreiben kann



Gesucht ist die Zeit t. Wenn eine Aktivität A0 zu Beginn der Zeitzählung vorlag, so ist sie nach der Zeit t auf die Aktivität A gesunken.

Also wird die Gleichung nach t umgestellt:



Um das zu knacken, werden beide Seiten logarithmiert:



Laut Formelsammlung gilt nun:



Wendet man diese Beziehung an, erhält man



Das lässt sich nun nach der Zeit umstellen



Wie groß sind die beiden Aktivitäten. Vor dem Einsetzen müssen sie noch auf die gleiche Einheit gebracht werden.

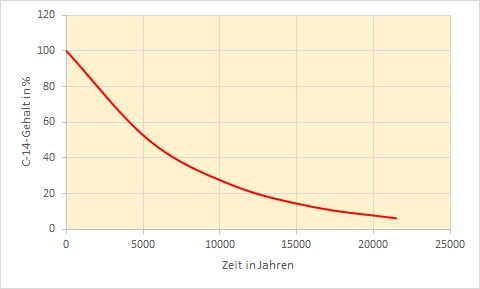
Von der Holzkohle ist bekannt, dass 15 g eine Aktivität von 3,13 Bq haben. Das heißt, in einer Sekunde zerfallen in der Probe 3,13 Kerne.

Im lebenden Holz zerfallen in 1g je Minute 15,3 Kerne. Das sind dann in 15 g 229,5 Zerfälle in einer Minute. In 1s zerfallen 3,825 Kerne. Damit ist die Aktivität der Vergleichsmenge von frischem Holz 3,825 Bq.



Das heißt, seit das Holz, aus der die Holzkohle entstanden ist, sind etwa 1700 Jahre vergangen.

**d)**



Die Halbwertszeit ist die Zeit, in der die Hälfte einer bestimmten Menge von radioaktiven Kernen zerfällt. Bei C-14 dauert das 5730 Jahre. Nach der doppelten Zeit, also nach 11 460 Jahren sind nur noch ein Viertel der Kerne vorhanden.

**e)**



Im Kohlenstoffkern, der zerfällt, wird aus einem Neutron ein Proton. Damit bleibt die Massenzahl erhalten und die Kernladungszahl erhöht sich um 1. Aus dem Kern fliegt eine negative Ladung in Form eines Elektrons heraus.

**f)** β –Strahlen bestehen aus Elektronen, die bei der Kernumwandlung entstehen und mit hoher Geschwindigkeit aus dem Kern herausgeschleudert werden. Diese haben z.B. folgende Eigenschaften:

* Lassen sich mit Hilfe von elektrischen und magnetischen Feldern ablenken
* Sie lassen sich durch eine dünne Metallschicht (z.B. Aluminium) abschirmen.
* Sie fliegen in der Luft einige Meter weit.
* In den menschlichen Körper dringt die Strahlung kaum ein. Sie wird in der Haut absorbiert, die dort aber schwer geschädigt werden kann.

**g)** Ursachen für eine höhere Strahlenbelastung sind z.B.

* Flugreisen. In großen Höhen ist durch die kosmische Höhenstrahlung die Belastung größer als auf der Erde.
* In der Medizin werden zur Diagnose und zur Behandlung radioaktive Strahlung eingesetzt
* Durch die Verbrennung von Kohle werden radioaktive Stoffe freigesetzt und gelangen in die Atmosphäre
* Atombombenexplosionen

**229.**

**a)**

Wenn durch die Bestrahlung von natürlichem Kobalt mit einem Neutron das radioaktive Kobalt-60 entsteht, muss die Reaktionsgleichung so aussehen:



Das natürliche Kobalt hat im Kern 27 Protonen und 32 Neutronen. Damit ist seine Massezahl 59. Durch das eine Neutron erhöht sich seine Massezahl um 1 auf 60 und die Kernladungszahl bleibt gleich. Es bleibt eben Kobalt.

**b)**



Im Kobaltkern zerfällt ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Das Elektron fliegt aus dem Kern als β-Minus-Strahlung raus.

Nach diesem Rauswurf ist der neue Nickelkern noch etwas erregt. Diese Anregung wird in Form von Gammastrahlung nach außen abgegeben. Durch die Gammastrahlung verliert der Kern nur Energie, ändert aber nicht seinen Aufbau.

**c)** Die Eigenschaften versteht man am besten, wenn man die Natur der Strahlung kennt.

β-Minus-Strahlung sind sehr schnelle Elektronen, γ-Strahlung ist eine elektromagnetische Welle mit sehr großer Frequenz. (Licht ist ebenso eine elektromagnetische Welle, aber mit einer sehr viel kleineren Frequenz.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | β-Minus-Strahlung | γ-Strahlung |
| Abschirmbarkeit | leicht abzuschirmen,  wenige mm dickes Aluminium reicht aus | sehr schwer abzuschirmen, durch dicke Bleiplatten |
| Reichweite in Luft | ca. einen Meter | mehrere Meter |
| Ladung | einfach negativ | ungeladen |
| Ablenkbarkeit | durch elektrische und magnetische Felder | nicht abzulenken |

**d)** Wenn nach 17,6 Jahren 90% zerfallen sind, heißt das, es sind von den ursprünglich 100% Kernen noch 10% da. Das Verhältnis der noch vorhandenen Kerne zur Ausgangsmenge ist dann



Nun gilt das Zerfallsgesetz:



Zum Auflösen nach der gesuchten Größe werden beide Seiten logarithmiert



Laut Formelsammlung gilt nun:



Damit kann man weiterarbeiten:



**e)**

|  |  |
| --- | --- |
| [Diagrammquelle](at229.xlsx)  Dem Diagramm kann man entnehmen, dass nach 20 Jahren etwas weniger als die Hälfte von 0,5 kg vorhanden sind. Das sind ungefähr 0,2 kg. |  |

**230.**

Der radioaktive Zerfall wird mit dem Zerfallsgesetz beschrieben:



N0 ist die ursprüngliche Menge an radioaktiven Kernen und N die Menge, die nach der Zeit t noch vorhanden ist.

Laut Aufgabenstellung soll die Menge der radioaktiven Kerne um 70% gesunken sein. Das heißt, es sind noch 30% vorhanden. Damit ist das Verhältnis



Das Zerfallsgesetz sieht dann so aus:



Diese Gleichung muss nun nach der Zeit t umgestellt werden.

Laut Formelsammlung gilt nun:



Zum Auflösen nach der gesuchten Größe werden beide Seiten logarithmiert



und umgestellt:



Diese Gleichung kann nun nach der gesuchten Zeit t umgestellt werden:



Damit lässt sich nun die Zeit berechnen:



Das heißt, nach 52,4 Jahren oder 52 Jahren und etwa 5 Monaten ist die Aktivität auf 30% des ursprünglichen Wertes abgeklungen. Das ist dann im Jahr 2038 so weit.

**231.**

**a)** z.B. kann eine Metallplatte positiv geladen werden. Zum Nachweis der Ladung ist sie an einem Elektroskop angeschlossen. Wird die Platte mit Teilchen bestrahlt, entlädt sie sich.

Die Teilchen können auch senkrecht zu den Feldlinien in ein Magnetfeld fliegen. Durch die Lorentzkraft werden sie auf eine Kreisbahn gelenkt. Aus der Richtung der Ablenkung kann auf die Ladung geschlossen werden.

**b)** 

**c)** Die Gasteilchen werden durch die geladenen Teilchen ionisiert, also aus den neutralen Atom Elektronen herausgeschlagen. Damit entstehen positive Ionen und negative Elektronen.

Diese Teilchen werden im elektrischen Feld des Zählrohres beschleunigt und ionisieren durch Stöße andere Teilchen. Es kommt zu einer Stoßionisation.

**232.**

**a)** Da die Teilchen als Quantenobjekte sowohl Teilchen- als auch Wellencharakter haben, können sie miteinander Interferieren.

Damit kann aus dem Interferenzversuch die Wellenlänge der Teilchen bestimmt werden.

Es kommt die Gleichung für Maxima am Gitter zum Einsatz:



k ist in diesem Fall 1. Da der Abstand des ersten Maximums vom 0. Maximum im Vergleich zum Schirmabstand sehr viel deutlich kleiner ist, verwendet man an Stelle von ek einfach e.



**b)** Es gilt die Gleichung für die de-Broglie-Wellenlänge:



**233.**

**a)**

1 beheizte Katode

2 Röhre mit Quecksilbergas unter geringem Druck gefüllt

3 Gitter

4 Anode

5 Strommesser

6 Spannungsmesser

**b)**

Ub links Minus, rechts Plus

Ug links Plus, rechts Minus

Die Beschleunigungsspannung Ub muss variabel sein. Sie wird im Versuch stetig verändert und der Strom gemessen.

**c)**

**1.** Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, dass mit steigender Spannung der Strom immer größer wird. Das heißt, mit steigender Spannung kommen immer mehr Elektronen an der Anode an.

Mit steigender Spannung erhalten die Elektronen immer mehr Energie, werden also immer schneller. Diese Energie reicht aus, um durch das Gitter hindurch zu fliegen und die Gegenspannung zwischen Gitter und Anode zu überwinden.

Falls ein leichtes Elektron unterwegs mit einem schweren Quecksilberatom zusammenstößt, erfolgt dieser Stoß elastisch. Das Elektron prallt einfach ab.

**2.** Beträgt die Spannung zwischen Katode und Gitter 4,9 V, besitzt das Elektron direkt vor dem Gitter eine kinetische Energie von 4,9 eV. Beim Quecksilber das genau die Energie, die das Atom braucht, um in einen angeregten Zustand überzugehen. Der Stoß erfolgt dann so, dass das Elektron seine gesamte Energie an das Quecksilberatom abgibt. Quecksilber nimmt die Energie des Elektrons als ein Packet auf und geht in einen angeregten Zustand über.

Da das Elektron seine gesamte Energie verloren hat, kann es die letzte Strecke zwischen Gitter und Anode nicht mehr überwinden und wird vom positiv geladenen Gitter abgesaugt.

Der Strommesser zeigt das an, indem er nur noch einen sehr geringen Elektronenfluss anzeigt. Das sind die Elektronen, die auf ihrem Weg zwischen Katode und Gitter Glück gehabt haben und mit keinem Quecksilberatom zusammengestoßen sind.

Quecksilber nimmt also die Energie gequantelt auf. Es benötigt 4,9 eV und die muss es als eine Portion bekommen.

Steigt die Spannung dann weiter bis auf 9,8 V, haben die Elektronen schon weit vor dem Gitter die notwendige Energie, um ein Quecksilberatom anzuregen. Auf dem restlichen Weg werden sie wieder so beschleunigt, dass sie genug Energie haben, die Spannung zwischen Gitter und Anode zu überwinden. Der Stromfluss steigt wieder an.

**3.** Ist die Spannung 9,8 V groß (2 mal 4,9 V), können sie auf ihrem Weg von der Katode zum Gitter zwei Mal Quecksilberatome anzuregen. Damit haben sie am Gitter wieder alle kinetische Energie verpulvert und verschwinden im Gitter. Der Stromfluss geht wieder zurück.

Das geht dann so weiter. Bei drei Mal 4,9 V kommt es wieder zu einem Einbruch der Stromstärke, weil sie auf dem Weg zwischen Katode und Gitter dreimal Quecksilberatom anregen können.

**d) Ergebnis:** Quecksilber nimmt Energie nur in Größen von 4,9 eV auf. Die Atome geben also Energie nicht nur in genau definierten Pakete ab (Linienspektrum), sondern sind auch bei der Energieaufnahme wählerisch.

**234.**

**a)** Ein Photon hat die Energie

,

also das Produkt aus dem Planckschen Wirkungsquantum und der Frequenz. Damit besitzt Licht einer höheren Frequenz auch eine höhere Energie.

Ein Elektron kann aus dem Aluminium nur herausgelöst werden, wenn die Energie eines Photons größer als die Austrittsarbeit ist. Ansonsten wird die Lichtenergie komplett in Wärme umgewandelt.

Welche maximale Frequenz hat das Licht, das wir sehen können, also das sichtbare Licht?

Wir sehen Licht zwischen den Wellenlängen 400 nm (violett) und 800 nm (rot). Für unsere Betrachtung ist nur das violette Licht interessant.

Die Frequenz hängt mit der Wellenlänge über die Lichtgeschwindigkeit zusammen:



Die Energiegleichung für das Photon lautet dann



Setzt man die Werte ein, erhält man



Das ist deutlich weniger als die erforderliche Energie, so dass das sichtbare Licht keine Elektronen aus dem Aluminium herauslösen kann.

**b)** Die Aussage ist wahr.

Photonen geben ihre Energie gequantelt ab. Das heißt, es werden immer vollständige Energieportionen abgegeben und aufgenommen.

Trifft ein Photon auf ein Elektron, gibt es seine Energie an das Elektron ab und ist weg. Das Elektron nimmt dieses Energiepaket auf und regiert entsprechend. Ist die Energie größer als die Austrittsarbeit, verlässt es das Metall. Es fliegt mit einer kinetischen Energie weg, die die Differenz aus der Energie des Photons und der Austrittsarbeit ist.

Wenn die Energie des Photons kleiner als die Austrittsarbeit ist, wird das Elektron nicht herausgelöst, sondern wackelt nur etwas. Das Metall wird wärmer. Nach der Aufnahme der Energie des Photons ist der Vorgang aber abgeschlossen. Das Elektron kann keine Energie sammeln.

Treffen ganz viele Photonen, die einzeln zu schwach sind, um ein Elektron herauszulösen, schaffen sie es auch nicht, Elektronen vom Metall zu trennen. Jedes Photon kämpft für sich allein.

Vergleich: Mit einem Wattebällchen kann man keine Scheibe einschlagen, mit einem Pflastersein schon. Aber auch viele Wattebällchen schaffen es nicht, eine Scheibe einzuschlagen.

**c)** Welleneigenschaften sind z.B. die Beugung und die Interferenz.

Geht eine Welle durch einen Doppelspalt, entstehen an jedem Spalt durch Beugung eine einzelne Kreiswelle. Diese beiden Wellen überlagern sich (Interferenz) und es bildet sich das typische Interferenzmuster heraus.

Ein Modell der Elektronen stellt sich als Teichen dar. Lässt man aber einzelne Elektronen durch einen Doppelspalt gehen, entsteht ein Interferenzmuster.

Das Teilchenmodell beschreibt nur eine Eigenschaft der Elektronen, das Wellenmodell eine andere Eigenschaft.

Damit verhalten sich Elektronen wie Quanten: je nach Betrachtungsweise könne Sie Wellen- oder Teilcheneigenschaften haben. Es ist aber niemals beides gleichzeitig zu beobachten.

**235.**

**a)** 

**b)** Der Am-Kern besitzt vor dem Zerfall eine bestimmte Masse, die einer Energie entspricht (Masse-Energie-Äquivalent) Die Energie ist



Nach dem Zerfall haben der Np-Kern und der He-Kern zusammen eine Masse, die aber kleiner ist als die Masse des Am-Kerns. Die Massendifferenz wurde in Energie umgewandelt, denn auf Grund der kleineren Masse besitzt das System der beiden Kerne ja weniger Energie als der Ausgangskern.

Wie viel Masse ist „verschwunden“?

Die Masse der beiden Folgekerne ist



Damit sind



Was einer Masse von



entspricht.

Multipliziert man diese Masse mit der Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat, erhält man die Energie in J:



Rechnet man das in eV um, erhält man 5,64 MeV.

**c)** Den Zerfall des Am-Kernes kann man als elastischen Stoß betrachten. Die beiden noch vereinten Teile haben keine Anfangsgeschwindigkeit. Fliegt der He-Kern raus, muss nach dem Impulserhaltungssatz der Restkern in die entgegengesetzte Richtung fliegen. Auf Grund seiner großen Masse ist seine Geschwindigkeit aber sehr gering. Nach dem Impulserhaltungssatz müssen die beiden Impulse vom Betrag her gleich sein, im Vorzeichen unterscheiden sie sich.

Damit haben sowohl der He-Kern als auch der Restkern einen Teil der kinetischen Energie. Der He-kern kann also nicht die gesamte kinetische Energie des Zerfalls haben.

**236.**

Das ist der Zerfall eines Radium-Kernes. Der besteht aus 226 Kernbausteinen (Nukleonen). Davon sind 88 Protonen und der Rest Neutronen.

Dieses Gebilde ist instabil, also radioaktiv. Irgendwann wird aus diesem Kern ein Ding herausgeschossen, das aus 2 Protonen und 2 Neutronen besteht. Das ist ein Heliumkern (Kernladungszahl 2), der auch als Alpha-Teilchen bezeichnet wird. Der fliegt mit großer Geschwindigkeit weg und ist gefährlich (Radioaktivität eben). Übrig bleibt ein Atomkern, der nun aus 86 Protonen und insgesamt aus 222 Nukleonen besteht.

Er ist von der ganzen Radioaktivität noch etwas erregt, er schwingt so vor sich hin. Diese Erregung gibt er in Form von Gamma-Strahlung ab. Das sind keine Teilchen, sondern eine elektromagnetische Welle. So ähnlich wie Licht, nur viel energiereich (auch gefährlich).

Hat der erregte Kern die Gammastrahlung abgegeben, ist wieder ganz ruhig. Er weiß aber, dass er auch nicht stabil ist und kann weiter zerfallen. Das ist dann aber eine andere Geschichte.

**237.**

**a)** Der Sauerstoffkern besteht aus 8 Protonen und 8 Neutronen. Von diesen Bausteinen wird zuerst die Masse berechnet:



Im nächsten Schritt wird die Masse des Sauerstoffkerns in der richtigen Einheit kg bestimmt:



Klar, das ist etwas weniger als die Summe der Einzelmassen.

Aus den beiden Massen kann nun der Massendefekt bestimmt werden:



Aus dem Massendefekt wird die entsprechende Energie bestimmt:



Das ist aber eine für die Kernphysik unübliche Einheit. Üblich sind eV.



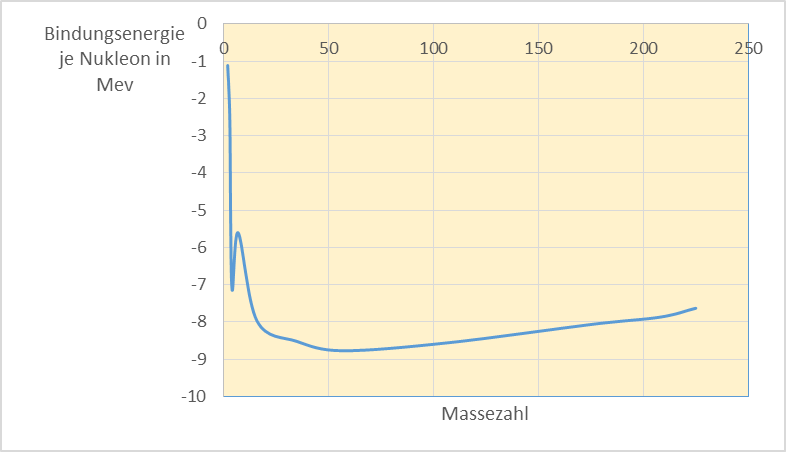
Da in dem Sauerstoffkern 16 Nukleonen enthalten sind, erhält man eine Bindungsenergie von 7,96 Mev je Nukleon.

Führt man die Berechnung für den Eisen-Kern durch, erhält man 8,53 MeV.

Das heißt, dass die Nukleonen im Eisenkern stärker gebunden sind als im Sauerstoffkern.

**b)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Isotop | Bindungsenergie | Anzahl der | Bindungsenergie |
|  | in MeV | Nukleonen | je Nukleon in MeV |
|  |  | (Massezahl) |  |
| H-2 | 2,225 | 2 | -1,1125 |
| He-3 | 7,712 | 3 | -2,57066667 |
| He-4 | 28,296 | 4 | -7,074 |
| Li-7 | 39,244 | 7 | -5,60628571 |
| O-16 | 127,62 | 16 | -7,97625 |
| Cl-35 | 298,2 | 35 | -8,52 |
| Fe-57 | 499,9 | 57 | -8,77017544 |
| Ag-107 | 915,387 | 107 | -8,55501869 |
| Lu-176 | 1418,4 | 176 | -8,05909091 |
| Pb-208 | 1636,455 | 208 | -7,86757212 |
| U-225 | 1716,694 | 225 | -7,62975111 |



**238.**

**a)** Die Gleichung



besagt, dass die Aktivität A die erste Ableitung von N nach der Zeit darstellt.

Von N weiß man, dass gilt:



Also wird von dieser Gleichung die erste Ableitung nach der Zeit gebildet.



(Kettenregel!)

Damit steht da



Der erste Teil ist N in Abhängigkeit von der Zeit N(t) und das negative Lambda wird durch das Minus wieder positiv:



**b)** Um die Halbwertszeit zu bestimmen, sollte man die die Anfangsaktivität kennen. Die Aktivität eines radioaktiven Stoffes in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt die Gleichung



Für bestimmte Zeiten sind die Aktivitäten bekannt. Damit ist es aber möglich, über eine Regression die Anfangsaktivität zu bestimmen.

Die Anfangsaktivität ist der A(t)-Wert zur Zeit 0s. Das heißt, der Term

 wird für diesen Zeitpunkt 1.

Die Werte werden in einen grafischen Taschenrechner eingegeben und eine exponentielle Regression gemacht. Der GTR liefert folgende Gleichung:



Dabei ist dann der a-Wert die Anfangsaktivität und  .

Die Regression liefert für .

Dieser Wert liegt unter dem Grenzwert der zulässigen Aktivität.

Die Halbwertszeit kann aus der Zerfallskonstante bestimmt werden:



Die Zerfallskonstante kann aus dem Zerfallsgesetzt bestimmt werden. Für A und t setzt man ein Wertepaar aus der Tabelle ein. Die Tage müssen dazu in Sekunden umgerechnet werden.



Damit erhält man dann eine Halbwertszeit von etwa 8 Tagen.

**c)** Mit der oben hergeleiteten Gleichung



kann die Anzahl der Nuklide zum Zeitpunkt t=0 bestimmt werden.



**329.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nummer** | **Buchstabe** | **Satz** |
| 11 | E | Der Stromstoß wird im Zähler gezählt. |
| 4 | G | Das Atom ist nun ionisiert (positiv geladen). |
| 9 | N | Es entsteht eine Ladungslawine. |
| 12 | R | Man hört ein kurzes Knacken im Lautsprecher. |
| 8 | O | Es werden noch mehr freie Elektronen und ionisierte Atome erzeugt. |
| 14 | E | Das Zählrohr ist wieder zählbereit. |
| 5 | E | Die Elektronen werden zum positiven Draht hin beschleunigt. |
| 3 | I | Aus den Atomhüllen des Edelgases werden Elektronen herausgelöst. |
| 13 | T | Die ionisierten Atome nehmen wieder freie Elektronen auf. |
| 7 | K | Auf ihrem Weg stoßen sie mit weiteren Atomen zusammen. |
| 1 | G | Es dringt Strahlung durch die dünne Folie in das Rohr ein. |
| 10 | Z | Die Ladungslawine erzeugt einen kurzen Stromstoß. |
| 6 | N | Die ionisierten Atome werden zum negativen Metallrohr beschleunigt. |
| 2 | E | Diese Strahlung trifft auf Atome des Edelgases. |

Lösungswort:

GEIGENKONZERTE

**240.**

**a)** Das Zerfallsgesetz lautet



Die einzelnen Formelzeichen haben folgende Bedeutung:

N die Anzahl der zum Zeitpunkt t noch vorhandenen radioaktiven Kerne

N0 die Anzahl der zu Beginn vorhandenen radioaktiven Kerne, also zum Zeitpunkt t=0

 Zerfallskonstante, beschreibt die Geschwindigkeit, mit der die Anzahl der radioaktiven Kerne abnimmt

t Zeit, die seit dem Beginn der Untersuchung vergangen ist.

|  |  |
| --- | --- |
| Die Anzahl der zum Zeitpunkt t=0 vorhandenen Kerne ist N0. Die Gleichung gibt die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne N in Abhängigkeit von der Zeit t an. Die Zerfallskonstante ist für einen bestimmten radioaktiven Zerfall von der Natur vorgegeben.  Es ist zu sehen, dass die Menge der noch vorhandenen Kerne exponentiell abnimmt. |  |

Die Halbwertszeit ist die Zeit, bis von einer bestimmten Menge an radioaktiven Kernen die Hälfte zerfallen ist.

**b)** Zwischen der gesuchten Halbwertzeit und der Zerfallskonstante besteht der Zusammenhang:



Kennt man also die Zerfallskonstante, lässt sich daraus die gesuchte Halbwertszeit berechnen. In der Zerfallsgleichung ist mit den gegebenen Größen außer der Zerfallskonstante alles bekannt:



Der Solver liefert dafür einen Wert von



Die Einheit der Zeit kann so übernommen werden.

Damit kann die Halbwertszeit zu 8,2 h bestimmt werden.

**241.**

**a)** Es soll gezeigt werden, dass die Dichte eines Atomkerns unabhängig von der Massenzahl A ist. Die Dichte muss sich also aus Größen berechnen lassen, die unabhängig vom Aufbau des Kernes sind.

Die Dichte ist ganz allgemein die Masse eines Körpers im Verhältnis zu seinem Volumen:



m ist die Masse des Atomkerns und V das Kernvolumen.

Die Atommasse berechnet sich mit der Massenzahl A:



u ist die atomare Masseneinheit und eine Naturkonstante.

Damit erhält man für die Dichte des Kerns:



Da steckt nun aber die Massenzahl drin. Nicht gut.

Die Form des Kerns wird als Kugel angenommen. Die Kugel hat das Volumen



Laut Aufgabenstellung ist der Kernradius



Setzt man das in die Volumengleichung ein, erhält man



Diese Volumengleichung wird nun in die Dichtegleichung eingesetzt und die Massenzahl verschwindet:



Die Kerndichte ist unabhängig von kerntypischen Größen.

**b)** Mit dieser Gleichung lässt sich die Kerndichte berechnen:



Das ist ein gigantischer Wert. Man weiß aber aus Experimenten, dass fast die gesamte Atommasse in einem winzig kleinen Kern konzentriert ist.

**242.**

**a)**



**b)** Für die Energiebilanz der Kernreaktionen werden die Massen vor und nach den Reaktionen betrachtet. Nach



kann sich Masse in Energie umwandeln.

Es soll nachgewiesen werden, dass bei diesem Kernprozess Energie freigesetzt wird. Das heißt, die Masse der Ausgangsprodukte muss größer sein als die Masse der Endprodukte.

In die Reaktion hinein gehen der Siliziu.30-Kern und das Neutron. Beide zusammen haben eine Masse von



Heraus kommen der Phpsphor-31-Kern und das Elektron. Beide zusammen haben eine Masse von



Bei dieser Kernumwandlung verschwindet ein kleiner Teil der Masse, die Endprodukte sind zusammen etwas leichter als die Ausgangsprodukte. Dieser geringe Massendefekt wird in Energie umgewandelt.

Wer will, kann diese Energiemenge auch berechnen. Es werden 19,5 MeV frei.

**243.**

a) Als erstes wird die Zerfallsgleichung aufgestellt. Die Summe der Kernladungszahlen und der Massenzahlen müssen auf beiden Seiten der Gleichung übereinstimmen.



Der Tochterkern hat eine Kernladungszahl von 86, enthält also 86 Protonen im Kern. Das Periodensystem der Elemente verrät, dass es sich um das Gas Radon handelt.

Zur Bestimmung der freiwerdenden Energie müssen die Masse vor dem Zerfall und die Massen nach dem Zerfall betrachtet werden.

Die Masse des Radiumkerns ist gegeben.

Davon zieht man die Massen des -Teilchens und des Radonkernes ab. Der Unterschied zwischen der Ausgangs- und der Endmasse wird als Massendefekt m bezeichnet.



Diese ausgesprochen geringe Masse hat sich bei dem Zerfall in Energie umgewandelt. Diese Umwandlung beschreibt die Gleichung



c ist dabei die Vakuumlichtgeschwindigkeit.



Auch das ist eine sehr kleine Energiemenge. Sie kann noch in die in der Kernphysik übliche Einheit MeV ungerechnet werden, indem die in Joule angegebene Energie durch die Elementarladung geteilt wird.



**b)** Die Menge an radioaktiven Material, was nach einer bestimmten Zeit noch vorhanden ist, berechnet sich nach dem Zerfallsgesetz:



Dabei ist N die Menge, die nach der Zeit t noch vorhanden ist. N0 ist die Menge an radioaktiven Material, die zu Beginn, also zum Zeitpunkt 0 da war.

 ist die Zerfallskonstante und macht eine Aussage über die Geschwindigkeit des radioaktiven Zerfalls. Die Angabe der Zerfallskonstante ist aber nicht üblich. Gebräuchlicher ist die Angabe der Halbwertszeit, also der Zeit, in der die Hälfte einer Menge an Atomen zerfallen ist.

Zwischen der Zerfallskonstante und der Halbwertszeit gilt der Zusammenhang:



Man setzt nun die Menge zum Zeitpunkt 0 auf 100% und die Menge zur gesuchten Zeit t auf 99,5%. Das ist ja die Menge, die nach dem Verschwinden von 0,5% noch vorhanden ist.

Schreibt man die Zerfallsgleichung in der Form



und setzt ein, erhält man



Jetzt stellt man nach der gesuchten Zeit um:



Ersetzt man die Zerfallskonstante mit der Gleichung, die die Halbwertszeit enthält, bekommt man



**c)** Laut Aufgabenstellung gelten sowohl der Impulserhaltungssatz als auch der Energieerhaltungssatz der Mechanik. Der Energieerhaltungssatz gilt ja grundsätzlich immer, aber in diesem Fall meint man, dass die entstandene Gesamtenergie sich komplett auf die beiden wegfliegenden Teilchen aufteilt und keine Verformungsarbeit o.ä. geleistet wird.

Man kann also schreiben

Energieansatz:



Impulsansatz:



Das negative Vorzeichen besagt, dass beide Teilchen in entgegengesetzte Richtungen fliegen und demnach die eine Geschwindigkeit negativ wird.

Setzt man in beide Gleichungen die entsprechenden Formeln ein, erhält man für den Energiesatz



und den Impulssatz



Wenn man beide Gleichungen zusammen betrachtet, erkennt man, dass als einzige Unbekannte Größen die Geschwindigkeiten enthalten sind. Da zwei Gleichungen aufgestellt werden konnten, ist das System lösbar.

Man kann z.B. den Impulsansatz nach der Geschwindigkeit des Radonkerns umstellen und das in den Energieansatz einsetzten.



Und eingesetzt:



Das muss nun nach der Geschwindigkeit des -Teilchens umgestellt werden



Prima. Nun noch einsetzten und ausrechnen:



Das sind rund 5% der Lichtgeschwindigkeit.

Was bei der Rechnung auffällt ist die Größe des zweiten Summanden unter dem Bruchstrich. Der Wert ist verschwindend klein und spielt bei der Berechnung der Geschwindigkeit eigentlich keine Rolle.

Der Grund liegt in dem gewaltigen Massenunterschied der beiden Teilchen. Der Radonkern ist über 50 Mal schwerer als das Alpha-Teilchen.

Damit ist die Geschwindigkeit des Alpha-Teilchens über 50 Mal größer als die Geschwindigkeit des Radonkerns (Impulsgleichheit).

Die kinetische Energie hängt aber quadratisch von der Geschwindigkeit ab. Das Radonteilchen hat weniger als 2% der kinetischen Energie des Alpha-Teilchens. Das heißt aber, dass man die kinetische Energie des Radonteilchens durchaus in der Energiebeziehung vernachlässigen kann. Damit reduziert sich die Gleichung für die gesuchte Geschwindigkeit auf



|  |  |
| --- | --- |
| **244.**  Die Elektronen sind durch eine äußere Energiezufuhr auf höhere Schalen gebracht worden, das Wasserstoffatom befindet sich im angeregten Zustand.  Nach einer sehr kurzen Zeit gehen die Elektronen wieder auf niedrigere Bahnen und verlieren dabei Energie, sie geben Licht ab.  Die Balmer-Serie betrachtet nur die Elektronen, die auf die 2. Schale fallen. |  |

Nur wenn sie dort ankommen. kann Licht entstehen, das wir auch sehen können. Landen sie auf anderen Schalen, ist das Licht entweder Infrarot oder Ultraviolett.

Das Licht mit der größten Wellenlänge ist auch das Licht mit der geringsten Energie. (langwelliges Licht ist energieärmer als kurzwelliges Licht). Damit ist als das Licht gesucht, welches beim Sprung von Schale 3 auf Schale 2 ausgesendet wird. Der Sprung von Schale 4 auf Schale 2 ist ja weiter und liefert demnach auch mehr Energie.



Diese Wellenlänge entspricht rotem Licht.

**245.**

|  |  |
| --- | --- |
| **b)** Das Diagramm zeigt, wie erwartet, einen exponentiellen Verlauf.  Die Halbwertsdicke beträgt 7,5 mm. Bei dieser Dicke wird also die Strahlung auf die Hälfte der ursprünglichen Stärke reduziert.  **c)** Das lässt sich Schrittweise bestimmen: Jede zusätzliche Dicke von 7,5 mm Blei verkleinern die Zählrate auf die Hälfte des vorherigen Wertes.  Es beginnt bei 50 Impulsen pro Sekunde. |  |

Die ersten 7,5 mm Blei reduzieren auf 25 Impulse. Stellt man dahinter weitere 7,5 mm, hat man 15 mm Blei und nur noch 12,5 Impulse pro Sekunde. Das man keine halben Impulse messen kann, ist klar. Wir rechnen aber mit dem Wert weiter.

Nach weiteren 7,5 mm (22,5 mm Blei) kommen nur noch 6,25 Impulse an. Setzt man noch Mal 7,5 mm Blei dahinter, ist man bei den geforderten 30 mm Blei und bei 3,1 Impulsen.

Das heißt, die Zählrate sinke hinter 30 mm Blei auf 3 Impulse pro Sekunde.

[Diagrammquelle](at245.xlsx)

**d)** In einer Sekunde werden vom dem Strahler 3,7 Millionen Quanten abgegeben. Ein Quant hat die Energie von 0,662 MeV. Das sind dann in einer Sekunde insgesamt



Die Umrechnungszahl zwischen den Einheiten Elektronenvolt (eV) und Joule (J)ist die Elementarladung.



Das ist die Energie, die das Präparat in einer Sekunde abgibt. Das wird jetzt noch auf ein ganzes Jahr hochgerechnet. Wieviel Sekunden hat ein Jahr?



Damit kann die gesamte Energiemenge pro Jahr berechnet werden:



Das ist nicht viel. Die Gefährlichkeit der radioaktiven Strahlung liegt auch nicht in der Gesamtenergie. Gefährlich ist sie, weil sie diese Energie auf sehr kleine Bereiche verteilt und dort punktuelle Schäden anrichten kann. Das ist so ähnlich wie Nadelstiche, nur viel gefährlicher.

**e)** Die Energiedosis ist die Energiemenge je Kilogramm, also die Verteilung der Energie auf einen bestimmten Körper.

Es muss also zuerst die Masse des Bleibehälters berechnet werden. Das geht natürlich über die Dichte und das Volumen:



Die Dichte findet man schnell mit



Das Volumen ist das eines Zylinders und damit Grundfläche mal Höhe. Die Höhe ist bekannt du die Grundfläche ist die Kreisfläche.



Damit kann die Masse bestimmt werden:



Da von der Strahlung 96% absorbiert werden, gehen 4% aus dem Behälter noch raus. Aber die 96% bleiben drin. Das ist von der gesamten Energie



Die Energiedosis ist die Energie je Masse, also



**f)** Es gibt drei Grundregeln:

1. Abstand

Die Strahlung nimmt mit dem Quadrat des Abstandes ab. Eine Verdopplung des Abstandes reduziert die Strahlung bereits auf ein Viertel.

2. Abschirmung

Wie man gerade gesehen hat, schwächt ein Stoff die Strahlung. Je dicker die Abschirmung, umso schwächer ist die Strahlung.

3. Kurze Bestrahlzeiten

Die aufgenommene Dosis ist proportional zur Bestrahlzeit.

**g)** Die Energiedosis besagt, wieviel Energie je Kilogramm aufgenommen wird. Die biologische Wirkung ist aber bei verschiedenen Strahlungsarten unterschiedlich. Alphastrahlen schädigen bei gleicher Energiemenge den Organismus viel schwerer als Betastrahlung.

Deshalb gibt es einen Bewertungsfaktor:

Q=1 bei Beta-, Gamma und Röntgenstrahlung

Q=10 bei Neutronen

Q=20 bei Alphastrahlen

**246.**

**a)** Da Radon ein leichtes Gas ist, sammelt es sich in geschlossenen Räumen. Da hilft häufiges Lüften, damit das Gas einfach rauszieht.

In Gebieten, in denen besonders viel Gas aus dem Boden strömt, können Kellerböden gasdicht abgedichtet werden, damit Radon erst gar nicht in den Keller gelangt. Das ist z.B. in Deutschland im Erzgebirge der Fall.

Zwei weitere natürliche Strahlenbelastungen sind die kosmische Höhenstrahlung und Strahlungen, die durch weitere radioaktive Zerfälle entstehen. Das sind z.B. die Zerfälle von Kohlenstoff-14 (C-14) und Kalium-40 (K-40).

**b)** Bei einem Alpha-Zerfall fliegt aus einem Kern ein Alpha-Teilchen heraus. Das ist kein einzelnes Teilchen, sondern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen (Heliumkern).

Das heißt, bei einem Alpha-Zerfall wird die Kernladungszahl um 2 und die Massenzahl um 4 kleiner. Damit können die Zerfallsgleichungen aufgeschrieben werden.

Radon hat eine Kernladungszahl von 86. Für das Mutterelement erhält man damit eine Kernladungszahl von 88 und eine Massenzahl von 226 (Radium):



Das Tochterelement hat eine Kernladungszahl von 84 und eine Massenzahl von 218 (Polonium):



**c)** Bei einem Kernzerfall wird immer Energie frei. Der Ausgangskern (Rn-222) besitzt eine größere Masse als die beiden Kerne zusammen, die beim Zerfall entstehen. Die Ursache dafür liegt in der unterschiedlichen Bindungsenergie je Nukleon in den verschiedenen Kernen.

Zur Berechnung der Energie, die frei wird, werden die Massen der entstehenden Kerne von der Masse des Radon-Kerns abgezogen:

221,97039991 u – (217,96289197 u +4,00150608 u) = 6,0019 ⋅ 10-3 u

Über die atomare Masseneinheit u kann dieser Wert in Kilogramm umgerechnet werden:



Dieser Wert wird als Massendefekt bezeichnet.

Über die Beziehung



kann die entsprechende Energie berechnet werden.



Das wird nun noch über die Elementarladung in eV umgerechnet:



Beim Zerfall eines Rn-222-Kerns wird eine Energie von 5,6 MeV frei.

**d)** Das Isotopengemisch besteht aus Kernen mit einer kleinen Halbwertszeit (Rn-220) und Kernen mit einer großen Halbwertszeit (Rn-222). Eine kleine Halbwertszeit bedeutet, dass in einer Sekunde viel mehr Kerne zerfallen als bei einer großen Halbwertszeit. Die anfängliche Aktivität wird also von den Rn-220-Kernen bestimmt.

Da sie sehr schnell zerfallen, wird ihre Aktivität auch schnell kleiner. Nach einer bestimmten Zeit sind die meisten dieser Kerne zerfallen und sie spielen bei der Aktivität keine Rolle mehr.

Dafür wird die Aktivität jetzt von den Rn-222-Kernen bestimmt, die ja recht langsam zerfallen.

Laut Aufgabenstellung ist die Anfangsaktivität der Rn-220-Kerne 100-mal so groß wie die Aktivität der Rn-222-Kerne:



Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist direkt proportional zu der Menge der vorhandenen Kerne. Bei doppelt so viel Kernen zerfallen ach doppelt so viele.

Die Aktivität einer Substanz nimmt nach dem Zerfallsgesetz ab:



A ist die Aktivität nach einer vergangenen Zeit t.  ist die Zerfallskonstante, die sich aus der Halbwertszeit bestimmen lässt:



Die Halbwertszeiten der beiden radioaktiven Stoffe sind gegeben.

Wenn die Aktivität beider Radon-Isotope gleich groß sein soll, müssen die beiden Aktivitätsgleichungen gleich gesetzt und nach der Zeit umgestellt werden.

Für die Aktivitäten hat man



und



Gleichgesetzt:



und nach t umgestellt:



Nach den Gesetzen der Logarithmik kann man dafür auch schreiben:



Beide Seiten werden logarithmiert:



und nach der Zeit umstellen:



Die Zerfallskonstanten werden noch durch die Halbwertszeiten ersetzt:



Und nun kann die Zeit berechnet werden:



|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Die Diagramme zeigen den Aktivitätsverlauf für Radon 220 in blau und für Radon 222 in orange.

[Diagrammquelle](at246.xlsx)

**e)** Man unterscheidet zwischen Energiedosis und Äquivalentdosis. Die Energiedosis gibt an, welche Energie je Kilogramm Masse aufgenommen wird. Die Äquivalentdosis berücksichtigt dabei noch, dass bestimmte Stahlen bei gleicher Energiedosis die Zellen mehr schädigen. So ist z.B. Alpha-Strahlung etwas 20-mal gefährlicher als die gleiche Menge Beta- oder Gamma-Strahlung.

Die Einheit der Äquivalentdosis ist Sv (Sievert).



Mit einem Alpha-Teilchen nimmt der Körper eine Energie von 5,5 MeV auf.

Die Person ist 20 Stunden im Stollen. Das sind



Damit werden pro Sekunde



aufgenommen.

Wieviel Joule sind das für die Person insgesamt? Die Person hat eine Masse von 75 kg, also



Je Sekunde nimmt die Person durch die radioaktive Strahlung 2,4 ⋅ 10-6 J auf.

Ein radioaktives Teilchen hat eine Energie von 5,5 MeV. Das rechnet man in Joule um



Damit wären für diese Strahlenmenge



Alpha-Teilchen notwendig.

Da die Alpha-Teilchen aber eine Qualitätsfaktor von 20 haben, also eine 20-fache Wirkung als ein z.B. Beta-Teilchen haben, sind nur 1/20 der Teilchen notwendig:



Die Person, die die Stollenkur macht, muss also für die gewünschte Dosis von etwa 140 000 Alpha-Teilchen pro Sekunde getroffen werden.

**f)** Die Strahlung kann

* Zellen im Körper treffen und diese sofort schädigen. Dadurch kann Krebs entstehen.
* die Erbsubstanz schädigen. Da ergeben sich Schäden bei den Folgegenerationen. Kinder können also durch mit genetischen Schäden geboren werden.

Alpha-Strahlung ist besonders schädlich, da die Heliumkerne eine vergleichsweise große Masse besitzen und dadurch mehr Schäden anrichten als die Teilchen der Beta-Strahlung oder die Photonen der Gamma-Strahlung.

**247.**

**a)**



Bei diesem Zerfall wird Masse in Energie umgewandelt.



m wird als Massendefekt bezeichnet. Es ist der Teil der Masse, der bei diesem Zerfall in Energie umgewandelt wird. Die Masse des Ausgangskernes ist etwas größer als die Masse des Tochterkernes und das Heliumkerns zusammen.

Die Masse das Ausgangskernes ist mit 238,04951 u gegeben. Die beiden entstehenden Teilchen haben zusammen die Masse von 234,04090 u + 4,0026036 u = 238,0435036 u. Das ergibt einen Massendefekt von 0,0060064 u.

Dieser Wert wird mit der atomaren Masseneinheit u in Kilogramm umgerechnet und dann mit der Lichtgeschwindigkeit die Energie berechnet.



Dieser Wert wird über die Elementarladung noch in die geforderte Einheit eV umgerechnet.



**b)**

|  |  |
| --- | --- |
| Zwischen der Energie und der Frequenz eines Photons gilt der einfache Zusammenhang    Ersetzt man die Frequenz durch die Wellenlänge, erhält man    Das kann nach der gesuchten Wellenlänge umgestellt werden: |  |

Da die Energie von 43 keV bekannt ist, kann die Wellenlänge der Gamma-Strahlung berechnet werden. Zuvor muss die Energie noch in J umgerechnet werden:



Und jetzt die Wellenlänge:



Erwartungsgemäß hat die Gamma-Strahlung z.B. im Vergleich zum sichtbaren Licht eine deutlich kleinere Wellenlänge.

**c)**

|  |  |
| --- | --- |
| Alpha-Teilchen verlassen den Ort ihrer Entstehung mit verschiedenen kinetischen Energien. Die kinetische Energie ist    Die Alpha-Teilchen sind immer Heliumkerne und besitzen alle die gleiche Masse.  Die unterschiedlichen Energien kommen also durch verschiedene Geschwindigkeiten zu Stande.  Lässt man die Heliumkerne senkrecht zu den Feldlinien durch ein homogenes Magnetfeld fliegen, spüren sie die Lorentzkraft, die sie auf eine Kreisbahn zwingt. |  |

Die Größe der Lorentzkraft hängt von der Geschwindigkeit der Teilchen ab:



Q ist die Ladung der Kerne, die ja auch für alle Kerne gleich groß ist.

Für die Kreisbahn gilt dann, dass die Lorentzkraft gleich der Radialkraft ist:



Mit Hilfe dieser Gleichheit lässt sich aus dem Radius der Teilchen die Geschwindigkeit bestimmen:



Die Ladung des Alpha-Teilchens ist zweifach positiv, also 2e:



Setzt man das in die Energiegleichung ein, erhält man



Damit lässt sich aus dem gemessenen Radius die kinetische Energie der Alpha-Teilchen bestimmen.

**d)** Wenn der 238-Pu-Kern das Alpha-Teilchen ausstößt, spürt er den Rückstoß und fliegt in die entgegengesetzte Richtung weg. Dabei gilt natürlich der Impulserhaltungssatz: Die Summe der Impulse vor dem Stoß ist so groß wie die Summe der Impulse nach dem Stoß.

Vor dem Zerfall (Stoß) ist der Impuls 0, das Teilchen ruht ja.

Damit muss nach dem Stoß die Summe der Impulse wieder 0 sein.



pk ist der Impuls des Tochterkerns. Da er in die entgegengesetzte Richtung des Alpha-Teilchens davonfliegt, hat dieser Impuls ein negatives Vorzeichen.



Das ist die Geschwindigkeit, mit der der Tochterkern wegfliegt.

Damit kann die kinetische Energie dieses Kerns bestimmt werden:



Wer genau hinschaut, erkennt in dieser Gleichung die kinetische Energie des davonfliegenden Alpha-Teilchens:



Damit lässt sich die Energiegleichung für den Tochterkern vereinfachen:



Die Massen der Teilchen sind bekannt. Die maximale Energie des Alpha-Teilchens ist gegeben. Damit kann die kinetische Energie des Tochterkerns berechnet werden:

kann man



Das ist der Betrag, der bei der ermittelten maximalen Energie der Alpha-Teilchen fehlt:



**248.**

**a)** Das Helium-Isotop sendet aus dem Kern ein Elektron aus. Da im Kern aber keine Elektronen vorhanden sind, muss es dort aus den vorhanden Kernbausteinen entstehen.

Elektronen entstehen, wenn ein Neutron in ein Elektron und ein Proton zerfällt. Dadurch bleibt die Massezahl des Kernes erhalten und die Kernladungszahl steigt um eins.



Beim Alpha-Zerfall wird aus dem Kern immer ein Heliumkern ausgesendet. Das ist beim Heliumkern selber natürlich nicht möglich. Dann würde kein Atomkern, sondern nur zwei Neutronen zurückbleiben.

**b)**

Ein Elementarteilchen besitzt eine Masse. Nach der Gleichung



kann man dieser Masse eine Energie zuordnen.

Finden sich mehrere Elementarteilchen zu einem Atomkern zusammen, besitzt dieser Kern auch eine Masse und demnach auch eine Energie.

Finden Kernumwandlungen z.B. in Form radioaktiver Strahlung statt, ändern sich die Massen der Elementarteilchen. Ein solches Verhalten findet man nur im Bereich der Elementarteilchen!

Die geänderte Masse wird in Form von Energie abgegeben oder aufgenommen.

Die Massenänderung wird als Massendefekt m bezeichnet und die Energie berechnet sich dann mit



In der konkreten Aufgabe muss untersucht werden, wie groß der Massendefekt beim radioaktiven Zerfall des Heliumkerns ist. Daraus lässt sich dann die gesuchte Masse des Heliumkerns berechnen.

Die Elektronen fliegen mit einer kinetischen Energie von 3,505MeV weg. Das entspricht einer Energie von



Diese Energie kann in den Massendefekt umgerechnet werden:



Der Heliumkern verliert beim radioaktiven Zerfall genau diese Masse.

Die Masse wird in die in der Kernphysik übliche Einheit atomare Masseneinheit u umgerechnet:



Wenn man diese „verlorene“ Masse zum entstandenen Lithiumkern addiert, hat man die gesuchte Masse des Heliumkerns:



**c)**

In einem Geschwindigkeitsfilter nach Wien durchlaufen die Elektronen gleichzeitig ein elektrisches und ein magnetisches Feld. Die Feldlinien der beiden Felder stehen senkrecht aufeinander.

Werden die Felder richtig gepolt, spüren die Elektronen beim Durchlaufen zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte.

Haben die beiden Felder auch noch die richtige Größe, heben sich die beiden Kräfte auf und die Elektronen fliegen geradlinig durch.

Die Geschwindigkeit der Elektronen lässt sich aus der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte bestimmen. Für das Kräftegleichgewicht gilt:



Wenn man also z.B. die Spannung ändert, die das elektrische Feld bestimmt, kann man für Elektronen verschiedener Geschwindigkeiten an einem Detektor die Intensitäten bestimmen und die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen aufnehmen.

|  |  |
| --- | --- |
| **d)** Die emittierten Elektronen haben unterschiedliche kinetische Energien: von sehr kleinen Werten bis zu einer maximalen Geschwindigkeit. Elektronen mit einer größeren Energie als dieser Maximalwert gibt es nicht.  Bei diesem Maximalwert wird das Elektron alleine aus dem Heliumkern herausgeschossen.  In allen anderen Fällen emittiert der Heliumkern noch ein Neutrino.  Da der Heliumkern immer den gleichen Wert an Energie verliert, die Elektronen aber mit unterschiedlichen Energien wegfliegen, muss das Neutrino (eigentlich Elektronen-Antineutrino) die restliche Energie tragen. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **249.**  **a)** Das Elektron im Neon-Atom wird von der Schale 0 (Grundniveau) auf die Schale 2 durch den Stoß mit dem freien Elektron angehoben.  Von da aus fällt e auf das Niveau 1 und sendet dabei ein Photon mit der Wellenlänge 585 nm aus.  Gesucht ist der energetische Abstand zwischen dem Niveau 1 und dem Grundniveau.  Dazu braucht man die Energie in eV des orangefarbigen Photons. |  |

Die Energie eines Photons lässt sich mit



berechnen.



Das wird noch in eV umgewandelt:



Damit erhält man die Energie des mittleren Niveaus:



**b)** Elektronen, die eine Spannung von 40 V durchlaufen, haben am Ende der Beschleunigungsstrecke eine Energie von 40 eV. Während der Strecke wächst die Energie der Elektronen proportional zur durchlaufenen Strecke.

Um ein Neon-Atom anzuregen braucht es eine Energie von 18,9 eV. Die haben die Elektronen kurz vor der Mitte der Beschleunigungsstrecke.

An dieser Stelle geben die Elektronen ihre Energie an die Neon-Atome ab und beginnen erneut zu beschleunigen. Kurz vor dem Ende der Strecke haben sie wieder 18,9 eV erreicht und können die Neon-Atome wieder anregen.

Damit leuchten auf der Strecke an den Stellen, wo die Elektronen genug Energie hatten, um die Neon-Atome anzuregen, diese im orangenen Licht.

**250.**

**a)**

Uran-238 hat eine Halbwertszeit von 4,47 Milliarden Jahre. Nach dieser unvorstellbar langen Zeit ist von einer bestimmten Menge unter Aussendung von Alpha-Strahlung die Hälfte zerfallen. Der Folgekern Thorium-234 hat im Gegensatz dazu eine Halbwertszeit von 24 Tage. Auch alle weiteren Kerne haben im Vergleich zum Uran.238 eine deutlich kleinere Halbwertszeit. Uran-234 fällt noch mal mit 0,246 Millionen Jahren auf. Das ist zwar auch eine lange Zeit, aber im Vergleich zur ersten Halbwertszeit dann doch wieder recht kurz.

Beim Zerfall von U-235 ist es ähnlich. Auf dem Weg zum stabilen Blei hat U-235 die größte Halbwertszeit.

**b)** Der Vorgang des radioaktiven Zerfalls lässt sich mit dem Zerfallsgesetz beschreiben:



Nu sind die nach der Zeit t noch vorhandenen U-Kerne, Nu(0) die zum Beginn, also bei der Entstehung des Gesteins vorhandenen Uran-Kerne. Über diese Anzahl weiß man aber nicht Bescheid, man kennt ja heute nur die Anzahl der noch vorhandenen Kerne.

Aber aus den ursprünglich vorhandenen Kernen sind ja die Blei-Kerne geworden. Das heißt, die heute zu findenden Blei- und Urankerne zusammen ergeben die Anzahl der zu Beginn vorhandenen Uran-Kerne:



Jetzt stellt man erst mal die Zerfallsgleichung nach der gesuchten Zeit um:



In der Gleichung, die zum Schluss hergeleitet werden soll, steht nicht die Zerfallskonstante, sondern die Halbwertszeit. Zwischen den beiden Größen gilt die Beziehung:



Setz man das ein, erhält man



Das sieht ja schon fast wie die Zielgleichung aus. Die Ausgangsmenge NU(0) wird noch, wie am Anfang beschrieben, ersetzt.



Fertig.

**b)**

Die Zusammensetzung der Gesteinsprobe wird mit einem Massenspektrografen bestimmt. Damit erhält man die Kernmassen.

In der eben hergeleiteten Gleichung sind aber die Anzahl der Kerne enthalten.

Wenn das Verhältnis der Kernmassen 0,77 beträgt, heißt das nicht, dass das Verhältnis der Teilchen eben so groß ist. Die Urankerne sind ja schwerer als die Bleikerne.

Der Urankern hat eine Masse von 238 u und der Bleikern eine Masse von 206 u.

**251.**

**a)** Bei einem Beta-Minus-Zerfall zerfällt ein Neutron in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino:



Das Elektron fliegt aus dem Kern heraus und ist das nachweisbare Beat-Minus-Teilchen.

Die Zerfallsgleichung für Tritium sieht dann so aus:



**b)** Das Zerfallsgesetz für den radioaktiven Zerfall lautet:



N(t) sind die Anzahl der Kerne, die nach der Zeit t von der ursprünglichen Anzahl der Kerne N0 noch vorhanden sind.

Wenn nach der gesuchten Zeit noch 28% von ursprünglich 100% noch vorhanden sind, kann man schreiben



Das Zerfallsgesetz für diesen konkreten Fall heißt dann



Daraus wird



Die Zerfallskonstante lässt sich über die Halbwertszeit ausdrücken:



Setzt man das ein, erhält man



Diese Gleichung kann man nach der gesuchten Zeit umstellen und diese bestimmen:



Das Regenwasser ist seit 22,5 Jahren im Boden, um heute als Grundwasser wieder ans Tageslicht zu kommen.

**252.**

**a)** Jedes Iodatom enthält im Kern 53 Protonen. Damit hat es in der Hülle auch 53 Elektronen und reagiert mit anderen Atomen eben als Iod.

Damit der Kern zusammen hält, sind noch Neutronen im Kern notwendig. Sie bringen einen Teil der starken Kernkraft auf.

Im I-123 sind 70 Neutronen und im I-131 sind 78 Neutronen. Beides ist möglich.

Isotope sind Kerne eines Stoffes (hier Iod), die im Kern eine unterschiedliche Neutronenzahl haben.

**b)** Eigenschaften radioaktiver Strahlung:

1. Ionisierungsvermögen

2. geradlinige Ausbreitung

3. Alpha- und Betastrahlung können im elektrischen und magnetischen Feld abgelenkt werden.

4. Durchdringen von Stoffen

**c)** Beta-Minus-Strahlung sind Elektronen. Da es im Kern aber keine Elektronen gibt, müssen sie dort irgendwie entstehen.

Ein Neutron zerfällt in ein Proton und ein Elektron. Das Elektron verlässt den Kern mit großer Geschwindigkeit und das Proton bleibt drin.

Damit ist die Ordnungszahl des Folgeelements um eins größer als das Ausgangselement.

Zerfallsgleichung:



Das Folgeelement ist Xenon mit der Massenzahl 131 und der Ordnungszahl 54.

**d)** Das Zerfallsgesetz lautet



t ist die gesuchte Zeit.

Wenn die Anzahl der Iodkerne auf 10% gesunken ist, heißt dass, dass das Verhältnis der vorhandenen Kerne zur ursprünglichen Anzahl 0,1 ist.



Damit erhält man



Beide Seiten werden logarithmiert:



und die Gleichung nach t umgestellt:



Für die Zerfallskonstante gilt:



Also wird dann daraus:



Das sind 3,32 Mal die Halbwertszeit und demnach 26,6 Tage.

Nach einer Halbwertszeit ist noch die Hälfte des ursprünglichen Materials vorhanden. Nach 2 Halbwertszeiten nur noch ein Viertel, nach drei Halbwertszeiten ein Achtel und nach vier Halbwertszeiten ein Sechzehntel.

Das Zehntel liegt also irgendwo zwischen drei und vier Halbwertszeiten und das wurde ja berechnet.

**e)**

|  |  |
| --- | --- |
| Die Messwerte werden in eine Kalkulationssoftware eingegeben und die Formel für die Kurve ermittelt (Excel: Trendlinie, GTR: Regression)  Im konkreten Fall ist nur der erste Faktor von Bedeutung. Er gibt N0, also die Ausgangsmenge an.  Sie beträgt hier 4⋅1015 Kerne. |  |

Die gesuchte Halbwertszeit lässt sich aus dem Diagramm bestimmen. Es ist die Zeit, die man bei einer vorhandenen Menge von 4⋅1015 abliest. Das sind ungefähr 12 Stunden.

**253.**

a) Zwischen der Energie eines Photons und seiner Frequenz gilt die Beziehung



h ist das Planck‘sche Wirkungsquantum, eine Naturkonstante.

Da die Wellenlänge bestimmt werden soll, muss die Beziehung zwischen Wellenlänge und Frequenz zum Einsatz kommen:



Setzt man das ein, erhält man



Bevor man nun rechnet, muss die Energie, die ja in Elektronenvolt (eV) gegeben ist, in die Grundeinheit Joule (J) umgerechnet werden.

Es gilt



Damit kann die gesuchte Wellenlänge berechnet werden:



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **b)** Zuerst werden die einzelnen Energiewerte berechnet:   |  |  | | --- | --- | | n | En | | 1 | -13,6 eV | | 2 | -3,4 | | 3 | -1,5 | | 4 | -0,85 |   Das Schema sieht dann wie gezeigt aus.  Die Energiedifferenz zwischen der 4 und 2 Spalte entspricht 2,55 eV. Damit sendet das Wasserstoffatom bei diesem Übergang ein Photon aus, dass die einer Wellenlänge von 485 nm entspricht (blaue Balmerlinie).  **c)**  Das Wasserstoffatom befindet sich vor dem Absorbieren des Photons im Grundzustand, das Elektron ist als auf der untersten Schale. Damit es zu einer Emission eines Photons mit 2,55 eV kommt, muss das Elektron auf die Schale 4 gebracht werden. Dafür ist eine Energie notwendig, die dem Abstand der beiden Schalen entspricht.  Das sind 13,6 eV – 0,85 eV = 12,75 eV.  Das entspricht einer Wellenlänge im ultravioletten Bereich. |  |

**254.**

**a)** Ein Atom darf den Namen Uranatom tragen, wenn es in seinem Kern 92 Protonen hat. Damit hat es die Ordnungszahl 92 und seinen festen Platz im Periodensystem der Elemente.

Aber die Anzahl der Neutronen im Kern ist bei den beiden Uranisotopen unterschiedlich. Das Isotop U-235 hat in seinem Kern 143 Neutronen und das Isotop U-238 143 Neutronen.

**b)**



**c)** Für den Nachweis wird die Gleichung für den Spaltprozess aufgestellt. Der Urankern wird von einem Neutron getroffen und zerlegt sich in die beiden angegebenen Kerne.



Die Kernladungszahlen von Cäsium und Rubidium entnimmt man z.B. dem Periodensystem der Elemente.

Die Summe der Anzahl der Protonen in den beiden Kernen stimmt mit der Protonenanzahl im Urankern überein: 55+37=92

Zählt man die Kernbausteine insgesamt zusammen, erhält man auf der Eingangsseite 235+1=236 und auf der Zerfallsseite 140+94=234. Das sind aber zwei weniger als auf der Eingangsseite.

Im Kern sind Protonen und Neutronen. Die Protonenanzahl stimmt auf beiden Seiten überein und bei den Neutronen fehlen auf der Zerfallsseite zwei Stück. Die fliegen als einzelne Neutronen weg.

d) Die freigesetzte Energie erhält man über die Differenz der Massen der Ausgangs- und Endprodukte. Der Urankern und das Neutron zusammen haben eine etwas größere Masse als die beiden Spaltkerne und die beiden Neutronen zusammen. Dieser sogenannte Massendefekt wird in Energie umgewandelt. Die Energie ist



Die Ausgangsprodukte haben eine Masse von



Für die Spaltprodukte sieht es so aus:



Damit erhält man einen Massendefekt von



Diese Masse wird in Energie umgewandelt.



Diese Energie kann noch in die in der Kernphysik übliche Einheit eV umgerechnet werden. Es gilt:



Damit erhält man eine Energie von -178,4 MeV.

Das Minus besagt, dass bei diesem Prozess die Energie abgegeben wird.

**255.**

**a)** Da sich das Elektron um den Kern bewegt, besitzt es kinetische Energie. Das ist klar.

Es hat nun aber zu dem anziehenden Kern auch einen Abstand.

Auf Grund der unterschiedlichen Ladungen zieht der positive Kern das negativ geladene Elektron an. Ohne seine Bewegung würde das Elektron in den Kern fallen. Dabei würde es nach außen Energie abgeben, die vorher in der Lageenergie des Elektrons bezüglich des Kernes gespeichert war.

**b)** Der Kraftansatz besagt, dass sich das Elektron auf einer stabilen Bahn um den Kern bewegt und die anziehende Kraft zwischen den Ladungen durch die Zentrifugalkraft auf Grund der Bewegung aufgehoben wird. Die Kraft zwischen den beiden Ladungen (Elektron und Proton) ist also genau so groß wie die Zentrifugalkraft.



Die beiden Ladungen sind gleichgroß und entsprechen der Elementarladung.



Die Gleichung kann nun nach der Kreisfrequenz umgestellt werden.



Das war’s schon.

**c)**

Die Serienformel für das Wasserstoffatom lautet



Dabei ist R die Rydbergfrequenz und n und m die Nummern der Schalen.

Die Energie ist



und damit ist die gesuchte Energie



Zum Ionisieren ist ein Elektron aus der Schale 1 komplett aus dem Atom herauszulösen. Das heißt aber, es muss auf eine unendlich weit entfernte Schale gehoben werden. Wenn die Schalennummer von m aber gegen unendlich läuft, geht das Reziproke davon gegen 0. Aus der Energiegleichung wird dann



**d)** Sichtbares Licht liegt im Frequenzbereich von 384 THz bis 789 THz. Strahlung mit einer kleineren Frequenz heißt infrarotes Licht und Strahlung mit einer größeren Frequenz heißt ultraviolettes Licht.

Als erstes muss gezeigt werden, dass ein Quantensprung auf das Niveau E1 kein sichtbares Licht erzeugt. Dazu wird als Startpunkt das Niveau E2 gewählt.

  
Diese Frequenz liegt schon im ultravioletten Bereich. Kommt das Elektron vom Niveau 3 und fällt auf 1, wird die Frequenz noch größer und liegt demnach auch nicht im sichtbaren Bereich.

Das Niveau 1 ist also für die Aussendung von sichtbarem Licht nicht geeignet.

Als nächstes wird das Niveau 2 als Endniveau untersucht. Als Start kommt hier Niveau 3 in Frage.



Diese Frequenz liegt im sichtbaren Bereich.

Als letztes wird nun noch das Niveau 3 als Landeschale untersucht. Start kann z.B. das 4. Niveau sein:



Das liegt im infraroten Bereich. Für eine höhere Frequenz, die vielleicht doch noch im sichtbaren Bereich liegt, kann der Sturz eines Elektrons aus der Unendlichkeit betrachtet werden:



Auch das liegt noch im infraroten Bereich.

**256.**

Absorption: Ein Photon trifft auf ein Atom. Das Elektron befindet sich auf dem Energiezustand E1. Es absorbiert das Photon und wird dadurch auf den Energiezustand E2 gehoben. Die Energie des Photons muss der Energiedifferenz E2-E1 entsprechen.

Spontane Emission: Das Elektron befindet sich auf dem Energiezustand E2. Es fällt spontan auf den Energiezustand E1 und gibt dabei ein Photon ab.

Die Energie des Photons entspricht der Energiedifferenz E2-E1.

Induzierte Emission: Ein Elektron befindet sich auf dem Energieniveau E2. Es wird von einem Photon getroffen und dadurch zum Sprung auf das Niveau E1 angeregt. Dabei gibt es ein Photon ab.

Das Photon, das diese Emission induziert, bewegt sich unverändert weiter. Das neue Photon hat die gleichen Eigenschaften wie das ursprüngliche Photon.

Die Energie des ursprünglichen Photons muss der Energiedifferenz E2-E1 entsprechen.

**257.**

**a)** Aus dem Periodensystem der Elemente ist zu entnehmen, dass Radon eine Ordnungszahl von 86 hat. Das heißt, im Radonkern sind 86 Protonen und insgesamt 222 Kernbausteine (also 136 Neutronen).

Das emittierte Alpha-Teilchen besteht aus 2 Protonen und 4 Neutronen, also 4 Kernbausteinen.

Damit lässt sich die gesuchte Gleichung angeben.



**b)** Die bei dem Zerfall freiwerdende Bindungsenergie entspricht dem Massendefekt.



Der Massendefekt ist die Differenz der Masse des Radonkerns vor dem Zerfall und der Summe der Massen der entstehenden Produkte.



Die Massen sind gegeben und der Massendefekt kann berechnet werden.



Damit kann die Energie in Joule berechnet werden:



Das wird über die Elementarladung in die übliche Einheit MeV umgerechnet:



**c)** Die Anzahl der in einer Zeiteinheit zerfallenden Kerne ist proportional zur Anzahl der Kerne:



Der Proportionalitätsfaktor ist die Zerfallskonstante 



Die Aktivität ist definiert als die Anzahl der Zerfälle je Zeiteinheit:



Damit erhält man die gesuchte Gleichung



Die Anzahl N ist die gesuchte Größe.



Die Zerfallskonstante ist



Damit erhält man



Das sind also rund 48 Milliarden Radonteilchen in der Probe. Die Masse ist dann



**d)** Der Zerfall lässt sich über die Zerfallsgleichung beschreiben:



Die Zerfallskonstante und die bekannte Halbwertszeit sind über



miteinander verbunden.

Da nach der gesuchten Zeit noch noch 15% vorhanden sind, gilt weiterhin



Damit erhält man

