

---

### Opgave 1

---

${}^A_ZX$  is de notatie voor: atoom X met  $A$  = som protonen en neutronen,  $Z$  = aantal protonen.  
Dus:

- a  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ : **17** protonen en  $35 - 17 =$  **18** neutronen
- b  ${}^{58}\text{Ni}$ : het atoomnummer van nikkel zoeken we op:  $Z = 28$   
dus: **28** protonen en  $58 - 28 =$  **30** neutronen
- c  ${}^{208}\text{Pb}$ : het atoomnummer van lood zoeken we op:  $Z = 82$   
dus: **82** protonen en  $208 - 82 =$  **126** neutronen
- 

### Opgave 2

---

(Rust) massa's in kg (waarden in Binas):

- a elektron:  $m_e: 9,10938291 \cdot 10^{-31}$
- b proton:  $m_p: 1,672621777 \cdot 10^{-27}$
- c neutron:  $m_n: 1,674927351 \cdot 10^{-27}$
- 

### Opgave 3

---

Gegeven: Isotoop 19 protonen, 22 neutronen.

- a Voor  $Z = 19$  vinden we: **kalium**.
- b Atoomnummer K: **19**
- c Notatie:  ${}^{41}_{19}\text{K}$
- d Massagetal: **41**
- e Atoommassa: **40,96183 u** (Binas tabel 25A)
- f Atoommassa (kg):  $40,96183 \text{ u} \times 1,660538921 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u} =$   **$6,80188 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$**
- g  $A_r =$  **40,96183** dezelfde waarde als de atoommassa in u
- h  $M =$  **40,962 g/mol**
- 

### Opgave 4

---

Zuurstof isotoop  ${}^{16}\text{O}$ .

- a Atoommassa  ${}^{16}\text{O}$ : **15,99491 u**
- b Molaire massa: **15,995 g/mol**
- c Massa van één atoom in kg:  $15,99491 \text{ u} \times 1,660538921 \cdot 10^{-27} =$   **$2,656 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$**   
of:  $15,995 \text{ g} / 6,02214 \cdot 10^{23} = 2,655 \cdot 10^{-23} \text{ g} \rightarrow$   **$2,656 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$**

Eventuele verschillen ontstaan door de afronding.

---

### Opgave 5

---

- a Het  $^{27}\text{Al}^{3+}$ -ion bevat 27 nucleonen (kerndeeltjes).  
Omdat het hier om een atoomsoort gaat, namelijk het atoom aluminium, kunnen we het atoomnummer ( $Z$ ) opzoeken:  $Z = 13$ .  
Er zijn dan **13** protonen,  $27 - 13 = \mathbf{14}$  neutronen en  $13 - 3 = \mathbf{10}$  elektronen.  
Doordat het atoom een  $3+$  ion is heeft het 3 elektronen minder dan het aantal protonen.
- b De lading in de kern is 13 maal de elementaire lading:  $1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .  
Dus:  $13 \times 1,60218 \cdot 10^{-19} = \mathbf{2,08283 \cdot 10^{-18} \text{ C}}$ .
- c De lading van het hele ion is 3 maal de elementaire lading:  
 $3 \times 1,60218 \cdot 10^{-19} = \mathbf{4,80653 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$ .
- 

### Opgave 6

---

Bindingsenergie van de kern, per nucleon van  $^{58}\text{Ni}$ ?

Gegeven:  $^{58}\text{Ni}$

Gevraagd:  $E_{\text{binding}}$

Oplossing:

$^{58}\text{Ni}$  heeft 28 protonen, 30 neutronen en 28 elektronen.

We berekenen de som van de rustmassa's van  $m_p$  en  $m_n$ : ( $28 \times m_p + 30 \times m_n$ )

We zoeken de atoommassa van  $^{58}\text{Ni}$  op, halen hier elektronenmassa ( $30 \times m_e$ ) vanaf en berekenen het *massadefect*:

$$\Delta m = 28 \times m_p + 30 \times m_n - (m_{\text{Ni}} - 30 \times m_e)$$

Delen door het aantal kerndeeltjes (58) geeft het massadefect per nucleon.

Omzetting naar energie geeft de bindingsenergie per nucleon.  $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}$ .

Kijken we in de grafiek dan is de schatting: 8,8 MeV

$$m_e: 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$$

$$m_p: 1,007276 \text{ u}$$

$$m_n: 1,008665 \text{ u}$$

$$\Delta m = 28 \times 1,007276 + 30 \times 1,008665 - (57,93535 - 30 \times 5,486 \cdot 10^{-4}) =$$

$$28,20373 + 30,25995 - 57,91889 = 0,54479 \text{ u}$$

$$\Delta E = 0,54479 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 507,5 \text{ MeV} \rightarrow 507,5 / 58 = \mathbf{8,749 \text{ MeV per nucleon}}$$

Klopt met de schatting uit de grafiek.

### Opgave 7

---

Bindingsenergie van de kern, per nucleon van  $^{208}\text{Pb}$ ?

Gegeven:  $^{208}\text{Pb}$

Gevraagd:  $E_{\text{binding}}$

Oplissing:

$^{208}\text{Pb}$  heeft 82 protonen, 126 neutronen en 82 elektronen.

Kijken we in de grafiek dan is de schatting: 7,9 MeV

Het massadefect:

$$\Delta m = 82 \times 1,007276 + 126 \times 1,008665 - (207,9766 - 82 \times 5,486 \cdot 10^{-4}) =$$

$$82,59663 + 127,09179 - 207,931681 = 1,7568 \text{ u}$$

$$\Delta E = 1,7568 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 1636,4 \text{ MeV} \rightarrow 1636,4 / 208 = \mathbf{7,875 \text{ MeV}} \text{ per nucleon.}$$

Klopt met de schatting uit de grafiek.

---

### Opgave 8

---

a De bindingsenergie van  $^{235}\text{U}$  is kleiner dan die van  $^{143}\text{Ba}$  en  $^{90}\text{Kr}$ .

b Bij de onderstaande kernsplijting komt energie vrij.



De bindingsenergie per nucleon in  $^{235}\text{U}$  is kleiner dan in  $^{143}\text{Ba}$  en  $^{90}\text{Kr}$ .

Het energieverschil wordt bij de omzetting *afgestaan*. De producten worden er stabieler door.

---

### Opgave 9

---

Fusie van waterstof tot He, komt er energie vrij of is er energie nodig?

De bindingsenergie van He is groter dan die van H. Maar *bindingsenergie* is energie die de deeltjes verliezen bij samensmelting. Het nieuwe atoom wordt er stabieler van. Bij de omzetting  $\text{H} \rightarrow \text{He}$  verliezen de deeltjes energie. En wel heel veel. Deze kernfusie is de reactie die op de zon plaatsvindt.

### Opgave 10

---

Absorptie in loodplaat.

*Gegeven:* Een loodplaat is 3,0 cm dik en heeft voor  $\gamma$ -straling een halveringsdikte van 1,0 cm.

*Gevraagd:* Hoeveel % wordt geabsorbeerd?

*Oplossing:*

De straling komt binnen met intensiteit  $I_0$ .

Na 1,0 cm is de intensiteit:  $0,5 \times I_0$

Na 2,0 cm is de intensiteit:  $0,25 \times I_0$

Na 3,0 cm is de intensiteit:  $0,125 \times I_0 \rightarrow 12,5\%$  van  $I_0$ .

Geabsorbeerd:  $100\% - 12,5\% = 87,5\% \rightarrow \mathbf{88\%}$ .

$$\text{In formule: } \frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_h}} \rightarrow \frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3,0}{1,0}} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \rightarrow 0,125$$

---

### Opgave 11

---

De halveringsafstand wordt alleen gebruikt met röntgen- en gammastraling.

$\alpha$ -straling wordt al tegengehouden door enkele cm lucht of een velletje papier. We leggen de eigenschap vast met de *dracht*. De maximale afstand die een deeltje aflegt.

---

### Opgave 12

---

Nee. Een korte dracht wordt juist veroorzaakt door een hoog ioniserend vermogen. Als een deeltje met zijn omgeving reageert reist hij niet verder. Een deeltje met een grote dracht heeft dus niet zo'n groot ioniserend vermogen.

---

### Opgave 13

---

De dracht hangt af van:

- energie deeltje,
- medium (materiaal),
- lading deeltje.

---

### Opgave 14

---

Wijze van verval.

a  $^{32}\text{P}$

Het element fosfor heeft atoomnummer 15. We vinden in tabel 25:  $\beta^-$ -straling.

Het atoom verliest dus één negatieve elementaire lading, een neutron verandert daarbij in een proton. Het atoomnummer  $Z$  wordt 16, dit is het element zwavel.

Het verval wordt dus:  $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + \beta^-$

b  $^{37}\text{Ar}$

Het element argon heeft atoomnummer 18. We vinden in tabel 25: K-vangst.

De atoomkern ontvangt dus een elektron, een proton wordt neutron. Het atoomnummer  $Z$  wordt 17, dit is het element chloor.

Het verval wordt dus:  $^{37}\text{Ar} + \beta^- \rightarrow ^{37}_{17}\text{Cl}$

c  $^{225}\text{Ac}$

Het element Actinium heeft atoomnummer 89. We vinden in tabel 25:  $\alpha$ -straling.

De atoomkern verliest dus 4 kerndeeltjes waarvan 2 protonen. Het atoomnummer  $Z$  wordt 87, dit is het element francium.

Het verval wordt dus:  $^{225}_{89}\text{Ac} \rightarrow ^{221}_{87}\text{Fr} + ^4_2\text{He}$

---

### Opgave 15

---

De vorming van Na. Welk symbool op de stippen?

a  $\dots + n \rightarrow ^{24}\text{Na}$

De natriumkern krijgt er één neutron bij, het blijft hetzelfde element.

$^{23}\text{Na} + n \rightarrow ^{24}\text{Na}$

b  $\dots + ^2\text{H} \rightarrow ^{24}\text{Na} + p$

Het atoom vóór de pijl krijgt een neutron + een proton maar verliest weer een proton.

Blijft dus hetzelfde element.

$^{23}\text{Na} + ^2\text{H} \rightarrow ^{24}\text{Na} + p$

c  $\dots + n \rightarrow ^{24}_{11}\text{Na} + \alpha$  Na heeft atoomnummer 11.

Het atoom vóór de pijl verliest 2 protonen en 2 neutronen maar ontvangt 1 neutron.

Het atoomnummer was  $11 + 2 = 13 \rightarrow \text{Al}$

Het massagetal was  $24 + 3 = 27$

$^{27}_{13}\text{Al} + n \rightarrow ^{24}_{11}\text{Na} + ^4_2\text{He}$

---

### Opgave 16

---

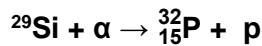
Wat moet op de stippen staan?

a  $^{29}\text{Si} + \alpha \rightarrow \dots + p$

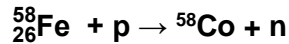
$^{29}_{14}\text{Si}$  krijgt 2 protonen en 2 neutronen maar verliest een proton, er komen 3 nucleonen bij.

$Z = 15 \rightarrow$  fosfor

$A = 32$

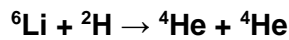


- b ... + p  $\rightarrow$   ${}^{58}\text{Co} + \text{n}$   
 ${}^{58}_{27}\text{Co}$  heeft een proton gekregen maar een neutron verloren.  
 vóór de pijl:  $Z = 27 - 1 = 26 \rightarrow$  ijzer,  $A = 58$

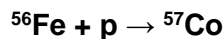


- c  ${}^6\text{Li} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \dots$   
 ${}^6_3\text{Li}$  krijgt één proton maar verliest er 2, krijgt 1 neutron maar verliest er 2  
 $Z \rightarrow$  gaat van 3 naar 2  $\rightarrow$  helium  
 $A \rightarrow$  gaat van 6 naar 4 (1 proton minder en 1 neutron minder)

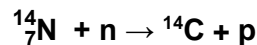
Het nieuwe deeltje is dan ook  ${}^4_2\text{He}$ .



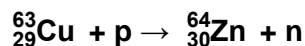
- d  ${}^{56}\text{Fe} + \dots \rightarrow {}^{57}\text{Co}$   
 Atoomnummer Fe = 26, atoomnummer Co = 27. Fe krijgt er 1 proton bij. Massagetal wordt ook met 1 opgehoogd:



- e ... + n  $\rightarrow$   ${}^{14}\text{C} + \text{p}$   
 ${}^{14}_6\text{C}$  heeft 1 neutron gekregen en 1 proton afgestaan.  $Z$  was dus  $6 + 1 = 7 \rightarrow$  stikstof.  
 Het massagetal bleef gelijk.



- f  ${}^{63}\text{Cu} + \dots \rightarrow {}^{64}\text{Zn} + \text{n}$   
 Atoomnummer Cu = 29, atoomnummer Zn = 30. Cu neemt dus 1 proton op.  
 Massagetal neemt (hierdoor) met 1 toe.



### Opgave 17

- a De verhouding tussen het aantal neutronen ( $N$ ) en het aantal protonen ( $Z$ ).  
 Voor lichte kernen zien we dat  $N/Z$  ongeveer 1 is.
- b Voor zwaardere kernen is deze verhouding groter dan 1.  
 Eerder in de orde van grootte: 1,5.

*Er zijn blijkbaar steeds meer neutronen nodig om een grote kern stabiel te maken.*

### Opgave 18

- a  $t_h > 10^{10}$  jaar is stabiel want, voor zover we kunnen nagaan is dat ook de leeftijd van het heelal.
- b Met korte halfwaardetijden zouden ze vervallen en dus niet meer in de natuur

voorkomen.

- c Kunstmatige radioactieve isotopen hebben korte halfwaardetijden, daardoor komen ze niet in de natuur voor: ze vervallen te snel en worden (meestal) niet bijgemaakt.

---

### Opgave 19

---

$^{57}\text{Co}$

*Gegeven:*  $^{57}\text{Co}$  vervalst met  $t_h = 270$  dagen.

*Gevraagd:* % gedesintegreerd na: a) 270 dagen    b) 540 dagen    c) 810 dagen?

*Oplissing:*

- a 270 dagen is precies de halfwaardetijd, dus:  $N_t / N_0 = 1/2 \rightarrow 50\%$  over en 50% is vervallen.
- b 540 dagen zijn precies 2 halfwaardetijden:  $N_t / N_0 = 1/2 \times 1/2 = 1/4 \rightarrow 25\%$  over.  
Vervallen:  $100 - 25 = 75\%$
- c 810 dagen zijn 3 halfwaardetijden:  $N_t / N_0 = 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8 \rightarrow 12,5\%$  over.  
Vervallen:  $87,5\% \rightarrow 12,5\%$ .

---

### Opgave 20

---

$^{85}\text{Kr}$

*Gegeven:*  $^{85}\text{Kr}$

*Gevraagd:* a)  $t_h$     b) vervalconstante  $\lambda$

*Oplissing:*

- a  $t_h$  zoeken we op (Binas 25A): 10,7 jaar  
Dat is:  $10,7 \times 365 \times 24 \times 3600 = 3,37 \cdot 10^8 \text{ s}$
- b  $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_h} \rightarrow \lambda = 0,693 / 3,37 \cdot 10^8 = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

---

### Opgave 21

---

*Gegeven:*  $^{60}\text{Co}$ ,  $t_h = 5,27$  jaar

*Gevraagd:* a) % na 2,0 jaar gedesintegreerd    b)  $t$  90% gedesintegreerd

*Oplissing:*

a  $\frac{N_t}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}}$     als  $t = 2,0$  jaar:  $\frac{N_t}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2,0}{5,27}} = 0,769 \rightarrow 77\%$  over.

Gedesintegreerd:  $100 - 77 = 23\%$

- b Als 90% vervallen is, dan is er nog 10% over. De verhouding  $N_t / N_0$  is dan: 0,10.

$$\frac{N_t}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \rightarrow 0,10 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5,27}} \rightarrow \log(0,10) = (t / 5,27) \times \log(0,5)$$

$$-1,0 = t \times -0,0571 \rightarrow t = 17,5 \rightarrow \mathbf{18 \text{ jaar}}$$

Opgave 22

*Gegeven:*  $^{220}\text{Rn}$ , meetresultaten in tabel.

*Gevraagd:* a) Grafiek  $\ln(A)$  tegen  $t$ , bepaal  $\lambda$       b) Bereken  $t_h$

*Oplossing:*

a       $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  en dus:  $\ln(A_t) = \ln(A_0) - \lambda \cdot t$

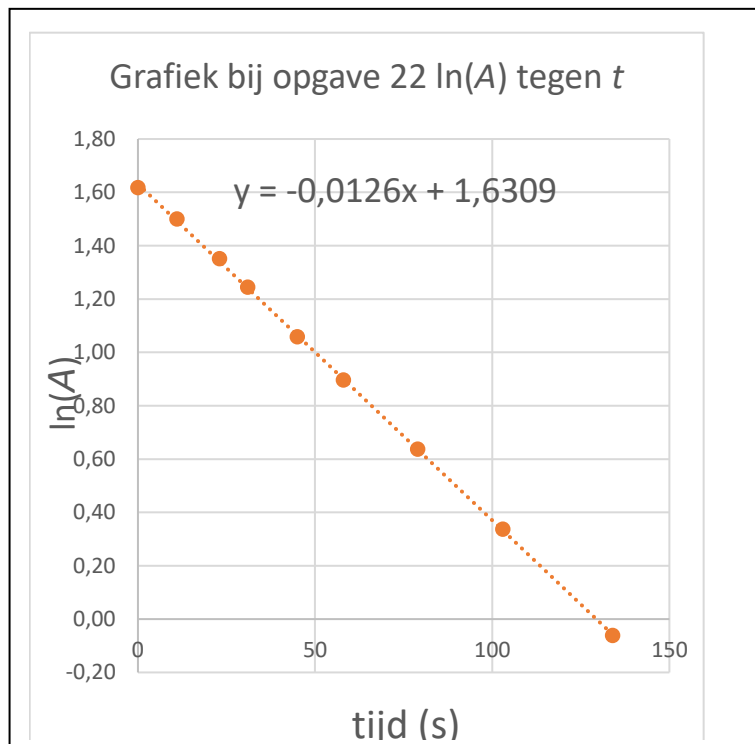
Zetten we  $\ln(A_t)$  uit op de  $y$ -as en  $t$  op de  $x$ -as dan geldt: richtingscoëfficiënt =  $-\lambda$

We vinden voor de rico (zie grafiek):  $-0,0126$

Dus  $\lambda = \mathbf{0,0126 \text{ s}^{-1}}$

b       $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_h} \rightarrow t_h = 0,693 / 0,0126 = \mathbf{55 \text{ s}}$

$t(\text{s})$	$A \text{ (Bq)}$	$\ln(A)$
0	5,04	1,62
11	4,48	1,50
23	3,86	1,35
31	3,47	1,24
45	2,88	1,06
58	2,45	0,90
79	1,8	0,59
103	1,4	0,34
134	0,94	-0,06



Je kunt natuurlijk met de hand een grafiek maken en de richtingscoëfficiënt hieruit schatten. Maar gebruik je excel zoals hier gedaan is, dan heb je ook nog de mogelijkheid om met de functie LIJNSCH de standaarddeviatie van de richtingscoëfficiënt af te drukken:

rico ( $b$ ) / asafsnede ( $a$ )	-0,01261	1,630899
standaardfout in $b$ ( $s_b$ ) / ( $s_a$ )	6,21E-05	0,004232

Het gevonden resultaat is dan:  $-\lambda = -0,01261 \pm 0,00006$



*Nuttig boek in dit verband: Klaessens: 'Statistiek in het laboratorium met Excel 2010'*

---

### Opgave 23

---

Gegeven:  $\lambda = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Gevraagd:  $N_t / N_0$  na een half uur

Oplissing:

$$t = 0,5 \times 60 \times 60 = 1800 \text{ s}$$

$$N_t / N_0 = e^{-\lambda \cdot t} \quad N_t / N_0 = e^{-0,00245 \times 1800} \rightarrow N_t / N_0 = 0,0122 \text{ of } \mathbf{1,22\%}$$

---

### Opgave 24

---

$^{24}\text{Na}$

Gegeven:  $^{24}\text{Na}$ ,  $t_h = 14,8$  uur

Gevraagd: Activiteit van 1,0 mg Na

Oplissing:

$$A_t = \frac{\ln(2)}{t_h} \cdot N_t$$

$$t_h = 14,8 \times 3600 = 53280 \text{ s}$$

$N_t$  berekenen we uit de 1,0 mg.

$$1,0 \text{ mg } ^{24}\text{Na} \text{ is } 0,0010 \text{ g} / 23,99 \text{ g/mol} = 4,168 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$N_t = 4,168 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \times 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomen/mol} = 2,51 \cdot 10^{19} \text{ atomen}$$

$$A_t = \ln(2) \times N_t / t_h \rightarrow A_t = 0,693 \times 2,51 \cdot 10^{19} / 53280 = \mathbf{3,3 \cdot 10^{14} \text{ Bq}}$$

---

### Opgave 25

---

De *doorslagspanning* is de spanning die nodig is om zonder meer een stroom te veroorzaken. Een meting is alleen mogelijk als de stroom die gaat lopen afhangt van de geabsorbeerde straling.

---

### Opgave 26

---

Persoonlijke dosimeters kunnen berusten op:

- lichtgevoelige film, de film moet ontwikkeld worden: hoe meer zwarting des te meer straling. In het verleden gebruikelijk maar nu verouderd,
- kleine ionisatiekamer in een *pendosimeter*,
- thermoluminescentie, een halfgeleider waarin elektronen worden geëxciteerd, bij verwarmen kun je de TLD uitlezen.

Opgave 27

---

Mens 60 kg

Gegeven:  $m = 60$  kg,  $\beta$ -straling,  $H = 1,0$  mSv

Gevraagd: Geabsorbeerde energie (J).

Oplissing:

$$H = D \cdot w_R$$

Voor  $\beta$ -straling  $w_R = 1$

$D = 1,0$  mGy  $\rightarrow 1,0$  mJ/kg  $\rightarrow 60$  mJ voor de hele mens. *Energie* is: **0,060 J**

---

Opgave 28

---

Dosis op longen.

Gegeven:  $H_T = 1,0$  mSv op de longen

Gevraagd:  $E$  (effectieve dosis).

Oplissing:

$$E = H_T \cdot w_T$$

$w_T$  (longen) = 0,12

$E = 1,0$  mSv  $\times 0,12 =$  **0,12 mSv**

---

Opgave 29

---

Dosis op longen en schildklier.

Gegeven:  $H_T = 3,0$  mSv op de longen en  $H_T = 4,0$  mSv op de schildklier.

Gevraagd:  $E$  (effectieve dosis).

Oplissing:

$$E = H_T \cdot w_T$$

$w_T$  (longen) = 0,12     $w_T$  (schildklier) = 0,05

$E = 3,0$  mSv  $\times 0,12 + 4,0$  mSv  $\times 0,05 =$  **0,56 mSv**

---

Opgave 30

---

Dodelijke dosis.

Gegeven:  $E$  (effectieve dosis) van 10 Sv is dodelijk.

Gevraagd:  $\Delta T$  van een lichaam van 60 kg bij deze dosis (alle energie omgezet in warmte).

Oplissing:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$c$ : soortelijke warmte, 4180 J/kg  $\cdot$  K

Ontvangen energie: 10 Sv = 10 J/kg, totaal voor 60 kg: 600 J

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 600 = 60 \times 4180 \times \Delta T \rightarrow \Delta T = 0,0024 \text{ K of: } \mathbf{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

---

### Opgave 31

---

**Gegeven:** Dosis in de borst: 1,5 mGy  $\gamma$ -straling en 0,10 mGy protonstraling.

Dosis op de schildklier: 0,050 mGy  $\alpha$ -straling.

**Gevraagd:** a)  $H_{\text{borst}}$  en  $H_{\text{schildklier}}$  b)  $E_{\text{T}}$

**Oplossing:**

a  $H_{\text{gamma}} = w_{\text{R}} \cdot D \rightarrow H = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ mSv}$

$$H_{\text{proton}} = w_{\text{R}} \cdot D \rightarrow H = 10 \times 0,10 = 1,0 \text{ mSv}$$

$$H_{\text{T borst}}: 1,5 + 1,0 = \mathbf{2,5 \text{ mSv.}}$$

$$H_{\text{alfa}} = w_{\text{R}} \cdot D \rightarrow H = 20 \times 0,050 = \mathbf{1,0 \text{ mSv.}}$$

b  $E_{\text{T}} = w_{\text{T}} \cdot H_{\text{borst}} + w_{\text{T}} \cdot H_{\text{schildklier}} = 0,05 \times 2,5 \text{ mSv} + 0,05 \times 1,0 \text{ mSv} = 0,175 \rightarrow \mathbf{0,18 \text{ mSv}}$

---

### Opgave 32

---

**Gegeven:** Röntgenfoto longen,  $H = 50 \text{ mSv}$ .

**Gevraagd:**  $E_{\text{T}}$

**Oplossing:**

$$E_{\text{T}} = w_{\text{T}} \cdot H_{\text{T}} \rightarrow E_{\text{T}} = 0,12 \times 50 = \mathbf{6,0 \text{ mSv.}}$$

---

### Opgave 33

---

Slordig taalgebruik

Wat zou betekenen: 'een dosis van 2 Sv op de schildklier'.

Dit is inderdaad niet duidelijk. Je kunt het opvatten als:

- Dosis van 2 Gy, dus:  $D = 2 \text{ Gy}$ .
- Equivalente dosis, dus:  $H = 2 \text{ Sv}$ . De effectieve dosis is dan:  $0,05 \times 2 = 0,1 \text{ Sv}$ .
- Effectieve dosis, dus:  $E_{\text{T}} = 2 \text{ Sv}$ . De equivalente dosis  $H$  was dan:  $2 / 0,05 = 40 \text{ Sv}$ .

---

### Opgave 34

---

Volgens de afbeelding komt er  $\beta$ -straling en  $\gamma$ -straling vrij.

---

Opgave 35

---

- a Natuurlijke radioactiviteit is natuurlijk de radioactiviteit van in de natuur voor komende radioactieve isotopen.
- b En kunstmatige radioactiviteit is natuurlijk de radioactiviteit van door de mens gemaakte isotopen.
- 

---

Opgave 36

---

Wanneer is een kern stabiel?

Het simpele antwoord is natuurlijk: als zijn verval heel lang duurt, dus de halfwaardetijd is een heel lange periode miljoenen jaren.

Maar een beter antwoord is: als de halfwaardetijd groter is dan de tijd dat onze planeet bestaat. Voor zover we kunnen nagaan:  $> 10^{10}$  jaar.

---

---

Opgave 37

---

Onvermijdelijk ontvang je een kleine stralingsdosis van het natuurlijke isotoop Rn-222 (edelgas radon). Radon komt vrij uit Ra-226 (radium). Dit komt vrij in de aardkorst voor. Het radon komt daardoor uit de grond en uit de bouwmaterialen waar bijvoorbeeld zand in verwerkt zit. Daardoor is de stralingsdosis in huis iets hoger dan buiten.

Tenzij je in een houten huis woont natuurlijk.

---

---

Opgave 38

---

De halveringstijd van  $^{14}\text{C}$  is 5730 jaar.

Toch een stabiele concentratie in de dampkring ...

Door kosmische straling wordt uit stikstof in de dampkring een kleine maar constante hoeveelheid C-14 gevormd:  $^1_0\text{n} + ^{14}_7\text{N} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$

Hierdoor is de hoeveelheid  $^{14}\text{C}$  in bomen en ander natuurlijk materiaal constant in de periode dat het materiaal gevormd wordt.

---

---

Opgave 39

---

De belangrijkste natuurlijke radioactieve isotoop in ons lichaam is kalium-40.

Opgave 40

---

- a Via voeding krijgen we binnen:  
K-40, C-14, I-131, Fe-55 en Po-210.
- b Via inademing: Rn-222 (radon) en Th-232 (thorium)
- 

Opgave 41

---

Kosmische straling bestaat uit:

Straling van buiten ons zonnestelsel.

Straling van de zon, de zogenoemde *zonnwind*.

Straling van *stralingsgordels*, deeltjesbanen in het magnetisch veld van de aarde.

*Secundaire kosmische straling* door wisselwerking van de primaire kosmische straling met de bovenste lagen van de atmosfeer.

---

Opgave 42

---

Joodpillen slikken heeft als gevolg dat de jood-behoefte van de schildklier verzadigd raakt. Hierdoor neemt de schildklier geen extra (radioactief) jood op.

---

Opgave 43

---

Voor diagnostisch onderzoek krijgt de patiënt een radioactief isotoop toegediend. Vervolgens moet deze straler:

- goed te detecteren zijn, dus  $\gamma$ -straling ( $\beta$ - en  $\alpha$ -straling komen het lichaam niet uit),
  - zo weinig mogelijk schade aan het weefsel geven, (dus geen  $\beta$ - en  $\alpha$ -straling),
  - snel weer uit het lichaam verdwijnen en kort actief blijven, dus geschikte  $t_h$ ,
  - chemisch aangepast kunnen worden zodat de isotoop door beoogde organen wordt opgenomen.
- 

Opgave 44

---

Bij inwendige bestraling, krijgt de patiënt een radioactief isotoop toegediend. In dit geval moet de straling direct op het weefsel gericht zijn. De eisen zijn dan:

- isotoop moet chemisch aangepast kunnen worden voor opname in het beoogde orgaan,
- korte dracht, dus geen  $\gamma$ -straling maar  $\beta$ - en / of  $\alpha$ -straling,
- geschikte halfwaarde tijd, de isotoop moet het lichaam ook weer vlot verlaten.

---

Opgave 45

---

*Gegeven:* 10,0 mL bloedplasma,  $A = 830$  Bq, na menging in de bloedbaan weer 10,0 mL plasma,  $A = 1,4$  Bq.

*Gevraagd:*  $V_{\text{bloed}}$

*Oplissing:*

De activiteit is evenredig met het aantal deeltjes. De 10,0 mL met  $A = 830$  Bq wordt blijkbaar verdund met een factor:  $830 / 1,4$ .

Met andere woorden het nieuwe volume is:  $(830 / 1,4) \times 10,0 \text{ mL} = 5929 \text{ mL} \rightarrow \mathbf{5,9 \text{ L}}$

---

---

Opgave 46

---

Toepassing van radioactieve tracers:

- volgen van het (bio)chemisch reactieverloop,
  - oplosbaarheidbepaling.
- 

---

Opgave 47

---

Ouderdomsbepaling gaat onder meer met de isotopen C-14 en K-40.

---

---

Opgave 48

---

Oplosbaarheid van AgI in water.

*Gegeven:* 0,10% van het Ag in AgI is vervangen door  $^{111}\text{Ag}$ -ionen.  
 $t_h = 7,5$  dag. Verzadigde oplossing in 1,0 L water geeft  $A = 8,0 \cdot 10^6$  Bq.

*Gevraagd:* a)  $[^{111}\text{Ag}^+]$  b)  $[\text{Ag}^+]$  c)  $K_s$  (oplosbaarheidsproduct)

*Oplissing:*

We kunnen het aantal opgeloste deeltjes  $N$  berekenen. Dus ook de hoeveelheid in mol en de concentratie in mol/L.

a  $A_t = \frac{\ln(2)}{t_h} \cdot N_t$  en  $t_h = 7,5 \times 24 \times 3600 = 6,48 \cdot 10^5 \text{ s}$

$$8,0 \cdot 10^6 = (\ln(2) / 6,48 \cdot 10^5) \times N_t \rightarrow N_t = 7,48 \cdot 10^{12} \text{ ionen } ^{111}\text{Ag} / \text{L}.$$

$$n = N_t / N_A \rightarrow n = 7,48 \cdot 10^{12} / 6,022 \cdot 10^{23} = \mathbf{1,24 \cdot 10^{-11} \text{ mol in 1 L}}$$

b De isotoop is 0,10% van het totaal dus  $[\text{Ag}^+]$  is 1000 x zo groot.  $[\text{Ag}^+] = \mathbf{1,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}}$

c De concentratie van het anion ( $\text{I}^-$ ) is even groot, dus het oplosbaarheidsproduct (ionenproduct van een verzadigde oplossing):

$$K_s = [\text{Ag}^+] \times [\text{I}^-] = 1,24 \cdot 10^{-8} \times 1,24 \cdot 10^{-8} = \mathbf{1,5 \cdot 10^{-16}}$$

Opgave 49

---

Metaalmonster beschieten met neutronen.

Gegeven: Isotoop straalt  $\beta^+$ , na 3 weken  $A = 81\%$

Gevraagd: a)  $t_h$       b) welk isotoop    c) vergelijking

Oplissing:

81% betekent:  $A_t / A_0 = 0,81$ ,  $t = 21$  d

a We gebruiken de formule: 
$$\frac{A_t}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \rightarrow 0,81 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{21}{t_h}}$$

neem aan beide zijden de logaritme:  $\log(0,81) = (21/t_h) \times \log(0,5) \rightarrow$

$$-0,0915 = 21 / t_h \times -0,301 \rightarrow t_h = \mathbf{69 \text{ d}}$$

b mogelijk is het  $^{58}\text{Co}$  met  $t_h = 70,9$  d en verval met  $\beta^+$ -straling.

c De vorming van  $^{58}\text{Co}$  verloopt dan door opname van een neutron, het verval  $^{58}\text{Co}$  met  $\beta^+$ -straling levert dan een proton minder op met gelijkblijvend massagetal (proton verandert in neutron +  $\beta^+$ -straling:




---

Opgave 50

---

a C-14, hoeveel % na  $5,0 \cdot 10^4$  jaar nog over?  $t_h = 5730$  jaar

$$\frac{A_t}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \rightarrow \frac{A_t}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5,0 \cdot 10^4}{5730}} \rightarrow 0,5^{8,73} = 0,0024 \rightarrow \mathbf{0,24\%}$$

b Na hoeveel jaar is er nog 0,12% over?

$$\frac{A_t}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \rightarrow 0,0012 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}} \rightarrow \text{neem aan beide zijden de logaritme:}$$

$$\log 0,0012 = (t / 5730) \times \log 0,50 \rightarrow t = 5730 \times (-2,92 / -3,01) = \mathbf{5,6 \cdot 10^4 \text{ jaar}}$$

Opgave 51

---

De halveringsdikte van  $\gamma$ -straling in lood: 1,0 cm.

Welke looddikte is nodig om de intensiteit van de straling met 75% te laten afnemen?

*Oplissing:*

Er is dan nog 25% over.  $A / A_0 = 0,25$

Na 1,0 cm is de stralingssterkte met de helft afgenomen: 0,5.

Na weer 1,0 cm is de stralingssterkte weer gehalveerd: **0,25**.

Dus 2 maal 1,0 cm is **2,0 cm**.

---

Opgave 52

---

Stalen plaat ( $d_{1/2} = 3,00$  cm) met  $^{60}\text{Co}$  bestraald, transmissie = 6%.

Hoe dik is de plaat bij benadering?

Bij *benadering*, dus:

na 3,0 cm  $T = 50\%$

na 6,0 cm  $T = 25\%$

na 9,0 cm  $T = 12,5\%$

na 12,0 cm  $T = 6,26\%$

Dus deze plaat is ongeveer **12** cm dik.