**Opgaven 8.1 – Ioniserende straling**

**1**

A → β−straling
(α's zouden door het papier tegengehouden zijn; γ's laten zich door 1 mm aluminium niet tegenhouden)

B → α−straling
(alleen die wordt al door papier geheel tegengehouden)

C → γ−straling
(α's zouden door het papier tegengehouden zijn en β's door aluminium, maar daarvan is niets te merken)

D → α− en γ−straling
(Het deel dat door papier wordt tegengehouden wordt, bestaat uit α's. Omdat het aluminium geen effect heeft, zitten er geen β's in het restant. Ook het effect van het lood wijst op γ's)

Antwoord: –

**2**

De α's hebben groot ioniserend vermogen en een korte dracht: bij de besmetting zal lokaal grote schade ontstaan.

De γ's hebben een gering ioniserend vermogen en een grote dracht. De meeste γ's verlaten het lichaam zonder schade aan te richten. Geringe schade zal verspreid door het lichaam optreden.

Antwoord: –

**3**

Neen.
Als de bron weg is, is ook de straling weg. De straling heeft eerder wel moleculen geïoniseerd, maar geen atomen radioactief gemaakt.

Antwoord: –

**4**

Bij α−straling: die wordt door kleding en door de huid al tegengehouden.

Antwoord: –

**5**

Het venster mag de α−straling niet (geheel) absorberen.

Antwoord: –

**6 a**

$$t_{1/2}\left({}^{33}\text{P}\right) = 25 \text{ d}$$

Antwoord: 25 d

**b**

$$N(t) = N(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

Na 200 dagen is nog over $\dfrac{N(200)}{N(0)} = \left(\tfrac{1}{2}\right)^{200/25} = 0{,}00390.. = 0{,}4\%$

Dus is vervallen $100 - 0{,}4 = 99{,}6\%$

Antwoord: 99,6%

**c**

$$A(t) = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} = A(0)\cdot 0{,}001$$

$$\Rightarrow \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} = 0{,}001$$

$$\Rightarrow \log\left(\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}\right) = \log(0{,}001)$$

$$\Rightarrow \left(\frac{t}{t_{1/2}}\right)\cdot\log\left(\tfrac{1}{2}\right) = \log(0{,}001)$$

$$\Rightarrow t = t_{1/2}\cdot\frac{\log(0{,}001)}{\log\left(\tfrac{1}{2}\right)} = 25\cdot\frac{-3}{-0{,}301..} = 249{,}1.. = 249 \text{ d}$$

N.B. $\frac{1}{1000} \approx \frac{1}{1014} = \frac{1}{2^{10}} = \left(\tfrac{1}{2}\right)^{10} \Rightarrow t/t_{1/2} \approx 10 \Rightarrow t \approx 10\cdot t_{1/2} = 10\cdot 25 = 250 \text{ d}$

Antwoord: 249 d

**7 a**

$\beta^-$− en γ−straling

Antwoord: –

**b**

$$\left.\begin{array}{l} A(t) = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \\ t_{1/2}\left({}^{137}Cs\right) = 30 \text{ j} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{A(175)}{A(0)} = \left(\tfrac{1}{2}\right)^{175/30} = 0{,}0175.. = 1{,}8\%$$

Antwoord: 1,8%

**8 a1**

$$t_{1/2}\left({}^{140}Ba\right) = 12{,}8 \text{ d}$$

Ruim een half jaar is ongeveer 190 dagen $= \frac{190}{12{,}8} = 14{,}8.. = 15\cdot t_{1/2}$

Antwoord: 15

**a2**

$A(t) = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$

$\Rightarrow 2{,}5\cdot10^{16} = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{15} = A(0)\cdot3{,}05..\cdot10^{-5}$ — 8,2·10^20 Bq

$\Rightarrow A(0) = \frac{2{,}5\cdot10^{16}}{3{,}05..\cdot10^{-5}} = 8{,}19..\cdot10^{20} = 8{,}2\cdot10^{20}$ Bq

**9 a**

$$\left.\begin{array}{l} A(t) = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \\ t_{1/2}\left({}^{24}Na\right) = 14{,}8 \text{ u} \\ A(6) = 18 \text{ per 10 min} \end{array}\right\} \Rightarrow 18 = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{6/14{,}8} = A(0)\cdot0{,}755..$$

$\Rightarrow A(0) = \frac{18}{0{,}755..} = 23{,}8.. = 24$ per 10 min — 24 / 10 min

**b**

$$\left.\begin{array}{l} 1\text{ cm}^3 \text{ bloed} \rightarrow 23{,}8.. \text{ deeltjes per 10 min} = \frac{23{,}8..}{10\cdot60} = 0{,}0397.. \text{ Bq} \\ x\text{ cm}^3 \text{ bloed} \rightarrow 240 \text{ Bq} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow x = \frac{240}{0{,}0397..} = 6{,}04..\cdot10^3 = 6{,}0\cdot10^3$ cm³ — 6 L

N.B.

$A(6) = 18+4 = 22$ per 10 minuten geeft $x = 4{,}9\cdot10^3$ cm³

$A(6) = 18-4 = 14$ per 10 minuten geeft $x = 7{,}8\cdot10^3$ cm³

**10**

$A(t) = A(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$

$$\left.\begin{array}{l} A_P(1) = 80\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{1/4} = 67{,}27.. \text{ Bq} \\ A_Q(1) = 40\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{1/2} = 28{,}28.. \text{ Bq} \end{array}\right\} \Rightarrow A_{P+Q}(1) = 67{,}27.. + 28{,}28.. = 95{,}5.. = 96 \text{ Bq}$$

96 Bq

**11**

Drie halveringen van de stroomsterkte: $(6 \rightarrow 3 \rightarrow 1{,}5 \rightarrow 0{,}75)\cdot10^{-10}$ A
duurt ongeveer $3{,}2 - 0{,}4 = 2{,}8$ min
Dus $t_{1/2} = \frac{2{,}8\times60}{3} = 56$ s — 56 s

**12**

$I(d) = I(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{d/d_{1/2}}$

Na plaatje A: $I(2) = I(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{2/2} = I(0)\cdot\tfrac{1}{2} = 0{,}50\cdot I(0)$ — 12,5%

Na plaatje B: $I(10) = \left(0{,}50\cdot I(0)\right)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{10/5} = 0{,}50\cdot I(0)\cdot\tfrac{1}{4} = 0{,}125\cdot I(0)$

*of*

$d_A = 2 \text{ mm} = d_{1/2,A} \Rightarrow$ na plaatje A blijft de helft van de opvallende straling over.
$d_B = 5 \text{ mm} = 2\cdot d_{1/2,B} \Rightarrow$ na plaatje B blijft een kwart van de opvallende straling over,
dus een kwart van de helft van de oorspronkelijke straling: $\tfrac{1}{4}\cdot\tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{8} = 0{,}125 = 12{,}5\%$

**13**

$$\left.\begin{array}{l} \tfrac{1}{8} = \left(\tfrac{1}{2}\right)^3 \\ t_{1/2}\left({}^{14}C\right) = 5730 \text{ j} \end{array}\right\} \Rightarrow t = 3\cdot t_{1/2} = 3\cdot5730 = 17190 = 17\cdot10^3 \text{ j}$$

Ongeveer 17000 j geleden

**14 a**

$${}^{36}_{18}\text{Ar}\left|\begin{array}{l} \text{massagetal: 36 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 18 protonen} \end{array}\right\} \Rightarrow 36-18 = 18 \text{ neutronen}$$

18

$${}^{226}_{88}\text{Ra}\left|\begin{array}{l} \text{massagetal: 226 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 88 protonen} \end{array}\right\} \Rightarrow 226-88 = 138 \text{ neutronen}$$

138

***b*** Het positief geladen proton wordt door de positief geladen (protonen in de) kern afgestoten. — –

**15** ***a*** Binas tabel 25: $E = 4{,}79$ MeV

Binas tabel 5: 1 eV $= 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J — $7{,}67 \cdot 10^{-13}$ J

$\Rightarrow E = 4{,}79 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 7{,}637.. \cdot 10^{-13} = 7{,}67 \cdot 10^{-13}$ J

***b***

$$P = \frac{E}{t} = \frac{3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot 7{,}673.. \cdot 10^{-13}}{1} = 0{,}0283.. = 0{,}028 \text{ W}$$

— 28 mW

***c*** Nodig voor opwarmen

$$\left.\begin{array}{l} Q = c \cdot m \cdot \Delta T \\ c = 4{,}2 \cdot 10^{3} \text{ J/kg} \cdot {}^\circ\text{C} \\ m = 100 \text{ g} = 0{,}100 \text{ kg} \\ \Delta T = 100 - 20 = 80\ {}^\circ\text{C} \end{array}\right\} \Rightarrow Q = 4{,}2 \cdot 10^{3} \cdot 0{,}100 \cdot 80 = 33600 \text{ J}$$

— 2,0 wk

Dit komt vrij van het radium:

$$Q = P \cdot t \Rightarrow 33600 = 0{,}0283.. \cdot t \Rightarrow t = 1{,}183.. \cdot 10^{6} \text{ s } = \tfrac{1{,}183.. \cdot 10^{6}}{7 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1{,}95.. = 2{,}0 \text{ weken}$$

***d*** De energie van de kernstraling warmt voortdurend het kernafval op. Zonder koeling zou de temperatuur te hoog kunnen oplopen (brand, smelten) — –

**16** ***a***

$$P_e = 0{,}07 \cdot P_k$$

$$280 = 0{,}07 \cdot P_k \Rightarrow P_k = 4000 = 4 \cdot 10^{3} \text{ W}$$

— –

***b***

$$\left.\begin{array}{l} E_{k,\alpha} = 5{,}5 \text{ MeV} \\ 1 \text{ eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \text{ J} \end{array}\right\} \Rightarrow E_{k,\alpha} = 5{,}5 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 8{,}81.. \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Aantal $\alpha$-deeltjes per seconde $= \frac{4 \cdot 10^{3} \text{ J/s}}{8{,}81.. \cdot 10^{-13} \text{ J}} = 4{,}53.. \cdot 10^{15} = 4{,}5 \cdot 10^{15}$ Bq — $4{,}5 \cdot 10^{15}$ Bq

***c*** Het geleverde vermogen $P$ is evenredig met de activiteit $A$. Voor $P$ kun je schrijven

$$P(t) = P(0) \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

$$100 = 280 \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/86} \Rightarrow \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/86} = \tfrac{100}{280} = 0{,}357..$$

— $1{,}3 \cdot 10^{2}$ jaar

$$\Rightarrow \frac{t}{86} \cdot \log\left(\tfrac{1}{2}\right) = \log(0{,}357..) \Rightarrow t = 86 \cdot \frac{\log(0{,}357..)}{\log\left(\tfrac{1}{2}\right)} = 127{,}.. = 1{,}3 \cdot 10^{2} \text{ jaar}$$

**17** ***a***

$$^{28}_{14}\text{Si} \left| \begin{array}{l} \text{massagetal: 28 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 14 protonen} \end{array} \right\} \Rightarrow 28 - 14 = 14 \text{ neutronen}$$

— 14

***b***

$^{31}_{14}\text{Si} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{31}_{15}\text{P}$ (stabiel)

$^{32}_{14}\text{Si} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{32}_{15}\text{P}$ ($\beta^{-}$ – straler) — –

**18** ***a***

$^{206}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{206}_{82}\text{Pb}$ (stabiel)

$^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{206}_{82}\text{Pb}$ (stabiel) — –

$^{213}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{213}_{84}\text{Po}$ ($\alpha$-straler) of $^{213}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{209}_{81}\text{Tl}$ ($\beta^{-}$-straler)

***b***

$^{238}_{96}\text{Cm} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{234}_{94}\text{Pu}$

$^{224}_{87}\text{Fr} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{224}_{88}\text{Ra}$ — –

***c***

$^{7}_{4}\text{Be} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{7}_{3}\text{Li}$

$^{34}_{17}\text{Cl} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{34}_{16}\text{S}$ — –

**19** ***a***

$_{80}\text{Hg} \rightarrow {}_{79}\text{Au}$ — –

In de kwikkern zou een proton moeten verdwijnen of veranderen in een neutron.

***b***

$_{82}\text{Pb} \rightarrow {}_{79}\text{Au}$

In de loodkern zouden drie protonen moeten verdwijnen of veranderen in neutronen. –

**20** ***a*** Z = 63 hoort bij Eu, europium –

***b***

$$^{147}_{63}\text{Eu} \left| \begin{array}{l} \text{massagetal: 147 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 63 protonen} \end{array} \right\} \Rightarrow 147 - 63 = 84 \text{ neutronen}$$

84

**21**

Ontstaan uit α−verval van polonium−215: $^{215}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{211}_{82}\text{Pb}$

Daarna β⁻−verval: $^{211}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{211}_{83}\text{Bi}$ –

Anders geschreven: $^{215}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{211}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{83}\text{Bi}$

**22** ***a***

$^{235}_{92}\text{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{231}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\beta^-} {}^{231}_{91}\text{Pa} \xrightarrow{\alpha} {}^{227}_{89}\text{Ac}$

Nu zijn er twee mogelijkheden naar $^{223}_{88}\text{Ra}$

of $^{227}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{\alpha} {}^{223}_{87}\text{Fr} \xrightarrow{\beta^-} {}^{223}_{88}\text{Ra}$

of $^{227}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{\beta^-} {}^{227}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{223}_{88}\text{Ra}$

Verder via $^{223}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{219}_{86}\text{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{215}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{211}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{83}\text{Bi}$ –

Vanaf hier zijn er twee mogelijkheden naar het stabiele $^{207}_{82}\text{Pb}$

of $^{211}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\alpha} {}^{207}_{81}\text{Tl} \xrightarrow{\beta^-} {}^{207}_{82}\text{Pb}$

of $^{211}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{207}_{82}\text{Pb}$

***b***

$^{176}_{71}\text{Lu} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{176}_{72}\text{Hf}$

$^{233}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{229}_{90}\text{Th}$ of $^{233}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{233}_{93}\text{Np}$ of $^{233}_{92}\text{U} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{233}_{91}\text{Pa}$ –

$^{114}_{49}\text{In} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{114}_{50}\text{Sn}$ of $^{114}_{49}\text{In} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{114}_{48}\text{Cd}$ of $^{114}_{49}\text{In} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{114}_{48}\text{Cd}$

***c***

Ontstaan uit α−verval van thorium−230: $^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{226}_{88}\text{Ra}$

Daarna α−verval: $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{222}_{86}\text{Rn}$ –

Anders geschreven:

$^{230}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$

**23** ***a*** $^{58}_{26}\text{Fe} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{59}_{26}\text{Fe}$ –

***b1***

$$A(t) = A(0) \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

$$356 = 548 \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{4/t_{1/2}} \Rightarrow \left(\tfrac{1}{2}\right)^{4/t_{1/2}} = \tfrac{356}{548} = 0{,}6496..$$

$$\Rightarrow \frac{4}{t_{1/2}} \cdot \log\left(\tfrac{1}{2}\right) = \log(0{,}6496..)$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = \frac{4 \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right)}{\log(0{,}6496..)} = 6{,}427..\text{ weken } (\times 7) = 44{,}9.. = 45 \text{ d}$$

45 d

***b2*** 45 dagen volgens Binas tabel 25. Klopt. –

***c***

*1e manier:*

$$A(t) = A(0) \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

$$A(8) = 548 \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{8/6{,}427..} = 231{,}2.. = 231 \text{ Bq}$$

231 Bq

*2^e manier:*

In de eerste vier weken neemt de activiteit met $\frac{356}{548}$ -ste deel af.

Het verval is exponentieel, dus in de volgende vier weken neemt de activiteit weer met $\frac{356}{548}$ -ste deel af. Er blijft over $\left(\frac{356}{548}\right)^2 \cdot 548 = 231{,}2. = 231\ \text{Bq}$

**Opgaven 8.2 – Toepassingen en gevaren van straling**

**24** ***a*** De straling maakt het voedsel niet radioactief, maar zorgt wel voor sterilisatie ervan. Het voedsel raakt dus niet besmet. Vanuit het oogpunt van gezondheid is er geen bezwaar tegen bestraald voedsel. –

***b*** Ja

$$\left.\begin{array}{l} N(t)=N(0)\cdot\left(\tfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \\ t_{1/2}\left({}^{32}\mathrm{P}\right)=14{,}3\ \mathrm{d}\end{array}\right\}\Rightarrow \text{na een half jaar is } \left(\tfrac{1}{2}\right)^{185/14{,}3}\approx\left(\tfrac{1}{2}\right)^{13}=1{,}27..\cdot10^{-4}$$ –

Er is dan nog maar 0,01% over van de hoeveelheid ${}^{32}\mathrm{P}$ die door de plant opgenomen was. Heel erg weinig dus, terwijl de hoeveel opgenomen P ook al niet veel geweest zal zijn.

**25** γ's met grote energie komen niet alleen via de kanaaltjes op het scintillatiekristal, maar dringen voor een deel ook door het lood heen. Dat laatste maakt de afbeelding minder scherp. –

**26** ***a*** $t_{1/2}\left({}^{99m}Tc\right)=6{,}0$ u: γ-straler

$t_{1/2}\left({}^{131}I\right)=8{,}0$ d: β⁻-straler –

***b*** $t_{1/2}\left({}^{99}Tc\right)=2{,}2\cdot10^{5}$ j

Met zo lange halveringstijd is de activiteit, en dus de stralingsbelasting, van deze β⁻−straler heel erg klein. –

***c***
- De γ−straler ${}^{99m}Tc$ geeft veel minder schade in het lichaam dan de β⁻−straler ${}^{131}I$
- ${}^{99m}Tc$ heeft een veel kortere halveringstijd en is dus veel eerder uit het lichaam verdwenen. –

***d*** γ's met een kleiner energie geven een scherpere afbeelding. Zie uitleg opgave 25 –

**27** In de tekst 'straling' vervangen door 'radioactieve stoffen'

De kernstraling zelf wordt geabsorbeerd in de naaste omgeving van de reactor. De wijdere omgeving heeft daar geen hinder van.
Gevaarlijker is het als radioactieve stoffen vrij komen, die met de wind in de wijde omgeving verspreid worden. –

**28** ***a*** De afstand wordt $\frac{25}{0{,}5}=50\times$ zo klein.

De straling wordt nu verdeeld over een oppervlak dat $50^2=2500\times$ zo klein is.
De ontvangen dosis neemt dan met een factor 2500 toe. 2500

***b***

$$H=W_R\cdot\frac{E}{m}\Rightarrow E=\frac{H\cdot m}{W_R}\Rightarrow\left|\begin{array}{l} E_1=\dfrac{H_1\cdot m}{W_{R,1}}=\dfrac{20\cdot10^{-3}\cdot60}{1}=1{,}2\ \mathrm{J} \\ E_2=\dfrac{H_2\cdot m}{W_{R,2}}=\dfrac{20\cdot10^{-3}\cdot60}{2}=0{,}60\ \mathrm{J}\end{array}\right\}$$ 1,8 J

$\Rightarrow E=1{,}2+0{,}60=1{,}8$ J

**29** ***a*** β⁻−verval: ${}^{40}_{19}\mathrm{K}\rightarrow{}^{0}_{-1}\mathrm{e}+{}^{40}_{20}\mathrm{Ca}$

K−vangst: ${}^{40}_{19}\mathrm{K}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}\rightarrow{}^{40}_{18}\mathrm{Ar}$ –

***b*** Binas tabel 25: $E_{\beta^-}=1{,}33$ MeV –

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *c* | $\left.\begin{array}{l} E = N \cdot E_\beta = A \cdot t \cdot E_\beta \\ A = 4{,}4 \cdot 10^3 \text{ Bq} \\ t = 1 \text{ j } = 3{,}15 \cdot 10^7 \text{ s} \end{array}\right\} \Rightarrow E = 4{,}4 \cdot 10^3 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 \cdot 1{,}33 = 1{,}84.. \cdot 10^{11} \text{ MeV}$ <br> $\left(\times 1{,}602 \cdot 10^{-13}\right) = 0{,}0295.. = 0{,}030 \text{ J}$ | 30 mJ |
| | *d* | $H = W_\text{R} \cdot \frac{E}{m} = 1 \cdot \frac{0{,}0295..}{60} = 4{,}92.. \cdot 10^{-4} = 4{,}9 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$ | 0,5 mSv |
| **30** | *a* | Eerst verpakken, daarna bestralen. <br> De γ−straling dringt door de verpakking heen. De inhoud wordt en blijft steriel. | – |
| | *b* | $E = N \cdot E_\gamma = A \cdot t \cdot E_\gamma$ <br> $\Rightarrow E = 8{,}0 \cdot 10^{16} \cdot 10 \cdot 1{,}25 = 1 \cdot 10^{18} \text{ MeV} = \left(\times 1{,}602 \cdot 10^{-13}\right) 1{,}602 \cdot 10^5 \text{ J}$ <br> $D = \frac{\frac{1}{2} \cdot E}{m}$ <br> $\Rightarrow D = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1{,}60.. \cdot 10^5}{5{,}0} = 1{,}60.. \cdot 10^4 = 1{,}6 \cdot 10^4 \text{ Gy}$ <br> In feite zal de dosis kleiner zijn, want nu wordt ervan uitgegaan dat alle straling door de inhoud van de doos geabsorbeerd wordt. In de praktijk gaat een groot gedeelte van de γ's door de doos heen. | 16 kGy |
| | *c* | Gebruik Binas tabel 28$^\text{E}$ voor een schatting van de halveringsdikte <br> $\left.\begin{array}{l} E_\gamma = 1{,}0 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\text{ Pb}} = 0{,}86 \text{ cm} \\ E_\gamma = 2{,}0 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\text{ Pb}} = 1{,}35 \text{ cm} \end{array}\right\}$ <br> $\Rightarrow E_\gamma = 1{,}25 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\text{ Pb}} = 0{,}86 + \frac{1}{4} \cdot (1{,}35 - 0{,}86) \approx 1 \text{ cm}$ <br> Dan $\left(\frac{1}{2}\right)^{d/d_{1/2}} \approx \left(\frac{1}{2}\right)^{4/1} = \frac{1}{16}$ <br> De intensiteit zal door de afscherming met een factor 16 afnemen. | 16 |
| **31** | *a* | Je kunt een bevolkingsonderzoek naar de gezondheid in een gebied met hoge achtergrondstraling vergelijken met een in een gebied met lage achtergrondstraling. Kunnen verschillen toegeschreven worden aan het verschil in achtergrondstraling? Dat zou dan bestudeerd kunnen worden. | – |
| | *b* | Leven zonder enig risico bestaat niet. Altijd moet er gekozen worden, soms voor de minste van meerdere kwaden. Bijvoorbeeld als het nut van een toepassing veel groter geacht wordt dan het daaraan verbonden risico. | – |
| | *c* | Het nut van opwekking van elektrische energie zonder $CO_2$−uitstoot kan opwegen tegen de zeer geringe toename van achtergrondstraling in de buurt van een kerncentrale, bij een opwerkingsfabriek of bij een opslag van radioactief afval. <br> Maar het ALARA-principe verliest voor velen zijn geldigheid bij ernstige bedrijfsongevallen (Tsernobyl; vervuiling van zeewater bij opwerkingsfabrieken). Eveneens bij terroristisch gebruik van radioactief afval voor zogenaamde 'vuile' bommen, die radioactieve stoffen verspreiden, of zelfs voor kernbommen. | – |

**Opgaven 8.3 – Kernenergie**

**32** ***a***

$E = m \cdot c^2 = 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \cdot \left(2{,}99792.. \cdot 10^8\right)^2 = 1{,}492418.. \cdot 10^{-10}$ J

$\left[\div 1{,}6021765 \cdot 10^{-19}\right] = 9{,}31494.. \cdot 10^8$ eV $= 931{,}49$ MeV

–

***b***

$E = m \cdot c^2$

$\Rightarrow 1\text{ J} = m \cdot \left(2{,}997.. \cdot 10^8\right)^2 \Rightarrow m = 1{,}111.. \cdot 10^{-17} = 1{,}11 \cdot 10^{-17}$ kg

$1\text{ eV} = 1{,}602.. \cdot 10^{-19}$ J

$\Rightarrow 1\text{ J} = \dfrac{1}{1{,}602.. \cdot 10^{-19}} = 6{,}242.. \cdot 10^{18} = 6{,}24 \cdot 10^{18}$ eV $= 6{,}24 \cdot 10^{12}$ MeV

$1{,}11 \cdot 10^{-17}$ kg
$6{,}24 \cdot 10^{12}$ MeV

**33** ***a***

${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{234}_{90}\text{Th}$

–

***b*** Als je links 92 elektronen bijtelt bij $^{238}$U, en rechts ook 92, 2 bij $^{4}$He en 90 bij $^{234}$Th, mag je in de massavergelijking de atoommassa's gebruiken uit Binas tabel 25.

| | | | |
|---|---|---|---|
| $^{238}$U | | 238,05079 | u |
| $^{4}$He | 4,002603 u | | |
| $^{234}$Th | 234,04358 u | | |
| | + | 238,046183 | u |
| massaverschil | | 0,004607 | u |

(–)

$\left[\times 1{,}66054 \cdot 10^{-27}\right] = 7{,}6501.. \cdot 10^{-30} = 7{,}650 \cdot 10^{-30}$ kg

$7{,}65 \cdot 10^{-30}$ kg

***c***

$0{,}004607 \cdot 931{,}49 = 4{,}2913.. = 4{,}291$ MeV

$\left[\times 1{,}602 \cdot 10^{-13}\right] = 6{,}8747...10^{-13} = 6{,}875 \cdot 10^{-13}$ J

4,29 MeV
$6{,}87 \cdot 10^{-13}$ J

**34** ***a*** Bereken voor beide de massa per nucleon.
Gegevens uit Binas tabel 25. Verwaarloos de massa van de elektronen.

$^{40}\text{Ca}$: $\dfrac{39{,}96259}{40} = 0{,}999065$ u

$^{120}\text{Sn}$: $\dfrac{119{,}90220}{120} = 0{,}999185$ u

De kern met de kleinste massa per nucleon, hier dus $^{40}$Ca, is stabieler.

$^{40}$Ca

***b***

| | | |
|---|---|---|
| 92 protonen | 92 x 1,007276 = | 92,669392 u |
| 146 neutronen | 146 x 1,008665 = | 147,265090 u |
| 92 elektronen | 92 x 0,00054858 = | 0,050469 u |
| | som (+) | 239,984951 u |
| | Binas tabel 25 ${}^{238}_{92}$U | 238,05079 u |
| | (–) | 1,934161 u |

$\left[\times 931{,}49\text{ MeV}\right] = 1{,}80165.. \cdot 10^3 = 1{,}8017 \cdot 10^3$ MeV

1,8017 GeV

***c*** De kernsoorten met *A* tussen 60 en 100. Daar is de massa per nucleon het kleinst. –

**35** ***a***

${}^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{236}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{90}_{36}\text{Kr} + 2 \cdot {}^{1}_{0}\text{n}$

${}^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{236}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{139}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 3 \cdot {}^{1}_{0}\text{n}$

–

***b***

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{235}_{92}U$ | 235,04393 | u | $^{139}_{54}Xe$ | $139\cdot 0{,}9941 =$ | 138,1799 | u | |
| $^{1}_{0}n$ | 1,008665 | u | $^{94}_{38}Kr$ | $94\cdot 0{,}9910 =$ | 93,154 | u | |
| | | | $3\cdot {}^{1}_{0}n$ | $3\cdot 1{,}008665 =$ | 3,025995 | u | |
| | | + | | | | + | $2{,}81\cdot 10^{-27}$ kg |
| links | 236,052595 | u | | rechts | 234,359895 | u | |

$\Rightarrow \Delta m = 236{,}052595 - 234{,}359895 = 1{,}6927$ u

$\left[\times 1{,}66054\cdot 10^{-27}\ \text{kg/u}\right] = 2{,}8107..\cdot 10^{-27} = 2{,}811\cdot 10^{-27}$ kg

***c***

$E = 1{,}6927\cdot 931{,}49 = 1{,}5767..\cdot 10^{3} = 1{,}577\cdot 10^{3}$ MeV

$\left[\times 1{,}602\cdot 10^{-13}\ \text{J/MeV}\right] = 2{,}5259..\cdot 10^{-10} = 2{,}526\cdot 10^{-10}$ J

1,58 GeV
$2{,}53\cdot 10^{-10}$ J

**36** ***a*** Het grafiet werkt als moderator. Daar remmen de snelle neutronen, die vrijkomen bij de kernreactie, af tot thermische neutronen. Deze kunnen dan een volgende kernreactie teweeg brengen.

Cadmium absorbeert goed neutronen. Per kernreactie mag maar één neutron overblijven voor een volgende reactie (vermenigvuldigingsfactor is 1). Dan levert de kernreactor een constant vermogen.

–

***b***

a. Het water is een goed primair koelmiddel van de reactor.
Het water in de primaire kring transporteert de thermische energie naar een secundair circuit, waar water verhit wordt tot stoom dat de turbines aandrijft.

b. Het water is een goede moderator voor de snelle neutronen.

–

***c***

1. Cadmiumstaven wat weg trekken van de splijtstofstaven. Dan zal de vermenigvuldigingsfactor groter dan 1 worden en de reactor met groter vermogen gaan werken.
2. Bij het gewenste hogere vermogen de cadmiumstaven terug tussen de splijtstofstaven brengen totdat de vermenigvuldigingsfactor weer 1 is. Het grotere vermogen blijft dan gehandhaafd.
(Als je deze tweede stap vergeet, zou de reactor op hol kunnen slaan)

–

**37** ***a*** Het omringende water remt ontsnappende snelle neutronen af tot thermische neutronen. Deze zullen in omringend water gemakkelijker teruggekaatst worden dan in omringende lucht. De kritische massa van uranium zal daardoor onder water kleiner zijn.

–

***b*** De vrijkomende neutronen kunnen heel gemakkelijk ontsnappen. De vermenigvuldigingsfactor blijft kleiner dan 1.

–

**38** ***a*** In 11 minuten

$E = P\cdot t = 200\cdot(11\cdot 60) = 132\cdot 10^{3}$ J $\left[\div 1{,}602\cdot 10^{-13}\ \text{J/MeV}\right] = 8{,}23..\cdot 10^{17}$ MeV

Per reactie 200 MeV, dus deze energie komt van

$\dfrac{8{,}23..\cdot 10^{17}}{200} = 4{,}11..\cdot 10^{15} = 4{,}1\cdot 10^{15}$ splijtingen

$4{,}1\cdot 10^{15}$

***b***

$E = m\cdot c^{2}$

$\Rightarrow 132\cdot 10^{3} = m\cdot(2{,}997..\cdot 10^{8})^{2}$

$\Rightarrow m = \dfrac{132\cdot 10^{3}}{8{,}987..\cdot 10^{16}} = 1{,}468..\cdot 10^{-12} = 1{,}47\cdot 10^{-12}$ kg

$1{,}5\cdot 10^{-12}$ kg

**39** ***a*** Binas tabel 32c: $0{,}390\cdot 10^{27}$ W

–

***b*** Per fusiereactie $26{,}7\cdot 10^{6}\cdot 1{,}602..\cdot 10^{-19} = 4{,}277..\cdot 10^{-12}$ J

geeft $\dfrac{0{,}390\cdot 10^{27}\,\text{(J/s)}}{4{,}277..\cdot 10^{-12}\ \text{(J)}} = 9{,}117..\cdot 10^{37} = 9{,}12\cdot 10^{37}$ fusiereacties per seconde

$9{,}12\cdot 10^{37}$

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *c* | $E = m \cdot c^2$<br>$\Rightarrow 0{,}390 \cdot 10^{27} = m \cdot (2{,}997.. \cdot 10^8)^2$<br>$\Rightarrow m = \dfrac{0{,}390 \cdot 10^{27}}{8{,}987.. \cdot 10^{16}} = 4{,}339.. \cdot 10^9 = 4{,}34 \cdot 10^9$ kg | $4{,}34 \cdot 10^9$ kg/s |
| **40** | *a* | ${}^3_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$<br>$2\,{}^2_1H \rightarrow {}^4_2He +$ energie | – |
| | *b* | ${}^3H$ is radioactief, een $\beta^-$–straler met een halveringstijd van 12,3 j.<br>Het komt niet in de natuur voor en moet via een hulpreactie worden aangemaakt. | – |
| | *c* | Het neutron uit de eerste reactie.<br>1. Ons lichaam bestaat voor een groot deel uit water en bevat dus veel protonen. Een proton, dat door een neutron (bijna gelijke massa) getroffen wordt, zal bijna al diens energie overnemen. Dan begint de vernietigende werking op de cellen.<br>2. Het neutron ondervindt geen elektrostatische afstoting. Het dringt gemakkelijk in een kern door. Die kern kan daardoor radioactief worden.<br>Ook bij hete kernfusie ontstaat radioactief afval. | – |
| | *d* | 1e reactie: | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ${}^3_1H$ | 3,016050 u | | ${}^4_2He$ | 4,002603 u | |
| ${}^2_1H$ | 2,014102 u | + | ${}^1_0n$ | 1,008665 u | + |
| links | 5,030152 u | | rechts | 5,011268 u | |

$\Rightarrow \Delta m = 0{,}018884 \text{ u} (\times 931{,}47) \Rightarrow \Delta m = 17{,}5902.. = 17{,}590$ MeV

$[\times 1{,}602.. \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV}] \Rightarrow \Delta m = 2{,}8179.. \cdot 10^{-12} = 2{,}818 \cdot 10^{-12}$ J

17,590 MeV
$2{,}82 \cdot 10^{-12}$ J

2e reactie:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $2\,{}^2_1H$ | 4,028204 u | | ${}^4_2He$ | 4,002603 u |

$\Rightarrow \Delta m = 4{,}028204 - 4{,}002603 = 0{,}025601$ u

$[\times 931{,}49 \text{ MeV/u}] \Rightarrow \Delta m = 23{,}8470.. = 23{,}847$ MeV

$[\times 1{,}602.. \cdot 10^{-13} \text{J/MeV}] \Rightarrow \Delta m = 3.. \cdot 10^{-12} = 3{,}820 \cdot 10^{-12}$ J

23,847 MeV
$3{,}820 \cdot 10^{-12}$ J

**Opgaven hoofdstuk 8**

**41** ***a***

$t_{1/2}(^{47}\text{Ca}) = 4{,}54\ \text{d} = (\times 24\cdot 60\cdot 60)\ 392256\ \text{s}$

$\Rightarrow A = \dfrac{\ln 2}{3{,}922..\cdot 10^5}\cdot 5{,}0\cdot 10^{18} = 8{,}83..\cdot 10^{12} = 8{,}8\cdot 10^{12}\ \text{Bq}$

Antwoord: $8{,}8\cdot 10^{12}$ Bq

***b***

$$\left.\begin{array}{l} t_{1/2}(^{226}\text{Ra}) = 1{,}60\cdot 10^3\ \text{j} = (\times 3{,}15\cdot 10^7)\ 5{,}04\cdot 10^{10}\ \text{s} \\ A = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}\cdot N \end{array}\right\} \Rightarrow 5{,}0\cdot 10^6 = \dfrac{\ln 2}{5{,}04\cdot 10^{10}}\cdot N$$

$\Rightarrow N = \dfrac{5{,}0\cdot 10^6\cdot 5{,}04\cdot 10^{10}}{\ln 2} = 3{,}635..\cdot 10^{17} = 3{,}64\cdot 10^{17}$ kernen

Antwoord: $3{,}64\cdot 10^{17}$

***c***

Het verval van $^{204}\text{Pb}$, met een halveringstijd van $1{,}4\cdot 10^{14}$ j, is in een mensenleven van 100 j niet merkbaar.

Antwoord: –

**42** ***a***

Voor een eerlijke vergelijking van de metingen: de absorptie in lucht zal steeds gelijk zijn.

Antwoord: –

***b***

Alle straling van de onderste laagjes wordt dan door die erboven geabsorbeerd en bereikt de GM-teller niet.

Antwoord: –

***c***

γ−straling heeft een groot doordringend vermogen en zal dus niet gauw geheel door bovenliggende laagjes geabsorbeerd worden.

Antwoord: –

**43**

De feitelijke meettijd voor die 5000 pulsen was $60 - 5000\cdot 125\cdot 10^{-6} = 59{,}375$ s

Omrekenen naar een volle minuut: $\frac{60}{59{,}375}\cdot 5000 = 5053 = 5{,}05\cdot 10^3$ pulsen

Antwoord: $5{,}05\cdot 10^3$

**44**

$^{204}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{204}_{81}Tl$

$^{207}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{207}_{81}Tl$

$^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{208}_{81}Tl$

$^{206}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{206}_{81}Tl$

Al deze thalliumisotopen zijn β−stralers: dat helpt dus niet als beveiliging.

Antwoord: –

**45** ***a***

1 ampère = 1 coulomb per seconde = 1 C/s; elektronlading = $1{,}6..\cdot 10^{-19}$ C

$\dfrac{2\cdot 10^{-10}\ \text{C/s}}{1{,}6..\cdot 10^{-19}\ \text{C}} = 1{,}24..\cdot 10^9 = 1{,}2\cdot 10^9$ ionenparen per seconde

Antwoord: $1{,}2\cdot 10^9$

***b***

Deze werden geproduceerd door $0{,}3\cdot 10^6$ α-deeltjes. Eén α-deeltje produceerde

$\dfrac{1{,}24..\cdot 10^9}{0{,}3\cdot 10^6} = 4{,}1..\cdot 10^3 = 4\cdot 10^3$ ionenparen

Antwoord: $4\cdot 10^3$

***c1***

$4{,}1..\cdot 10^3\cdot 34\ \text{eV} = 1{,}41..\cdot 10^5 = 1{,}4\cdot 10^5\ \text{eV}$

Antwoord: 0,14 MeV

***c2***

α−deeltjes kunnen nog energie over hebben als ze de wand raken.

Antwoord: –

**46** ***a1***

$E_\alpha = 4{,}79$ MeV Binas tabel 25

Antwoord: –

***a2***

$$\left.\begin{array}{l} E = \frac{1}{2}m\cdot v^2 \\ E = 4{,}79\cdot 10^6\cdot 1{,}60..\cdot 10^{-19} = 7{,}673..\cdot 10^{-13}\ \text{J} \end{array}\right\} 7{,}673..\cdot 10^{-13} = \tfrac{1}{2}\cdot 6{,}6\cdot 10^{-27}\cdot v^2$$

$\Rightarrow v^2 = 2{,}325..\cdot 10^{14} \Rightarrow v = 1{,}52..\cdot 10^7 = 1{,}5\cdot 10^7$ m/s

N.B. Dit is ongeveer 5% van de lichtsnelheid. Voor de berekening zou je eigenlijk de relativiteitstheorie moeten gebruiken. Je zou dan uitkomen op een wat lager waarde.

Antwoord: –

***b***

$\dfrac{4{,}79\ \text{MeV}}{34\ \text{eV}} = \dfrac{4{,}79\cdot 10^6}{34} = 1{,}40..\cdot 10^5 = 1{,}4\cdot 10^5$ ionen

Antwoord: $1{,}4\cdot 10^5$

**c** dracht $\Delta x = v_{gem} \cdot \Delta t$
$v_{gem} = \frac{1{,}5\cdot 10^7 + 0}{2} = 0{,}75\cdot 10^7$ m/s
$\Rightarrow 0{,}03 = 0{,}75\cdot 10^7 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 4\cdot 10^{-9}$ s

4 ns

**d** $P_{bron} = A\cdot E_\alpha$ . Hier is $A$ de activiteit van de bron.

$P_{bron} = A\cdot E_\alpha = 5\cdot 10^4 \cdot 4{,}79\cdot 10^6 \cdot 1{,}60..\cdot 10^{-19} = 3{,}83..\cdot 10^{-8}$ W

Hiervan bereikt 10% het scherm.

$I = \frac{0{,}10\cdot P_{bron}}{A}$ . Hier is $A$ het schermoppervlak.

$I = \frac{0{,}10\cdot P_{bron}}{A} = \frac{0{,}10\cdot 3{,}83..\cdot 10^{-8}}{0{,}10\cdot 0{,}10} = 3{,}83..\cdot 10^{-7} = 4\cdot 10^{-7}$ W/m$^2$

$4\cdot 10^{-7}$ W/m$^2$

**47** **a1** De gemiddelde activiteit van de achtergrondstraling is $\frac{289}{5\cdot 60} = 1$ Bq
Tijdens een meting van 6 s zullen gemiddeld 6 pulsen afkomstig zijn van die achtergrondstraling.

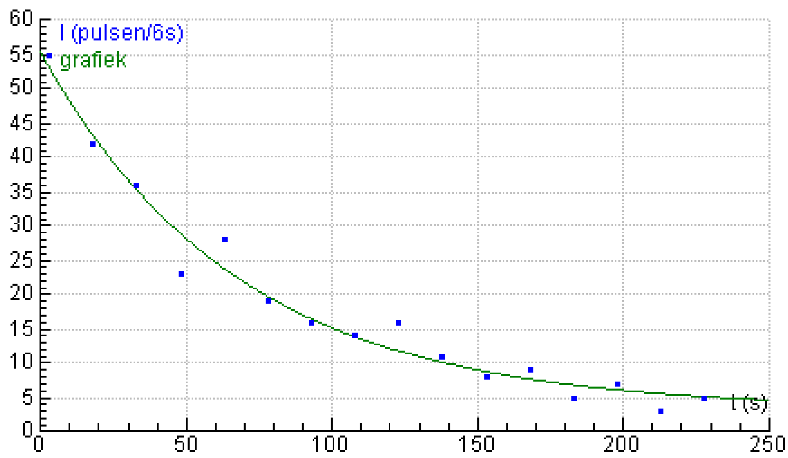
6

**a2**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 55 | 28 | 16 | 5 |
| 42 | 19 | 11 | 7 |
| 36 | 16 | 8 | 3 |
| 23 | 14 | 9 | 5 |

–

**b1**




–

**b2** De intensiteit is gedaald tot een kwart van de beginwaarde na ongeveer 110 s. Dat zijn twee halveringstijden. De grafiek geeft een halveringstijd van ongeveer 55 s.

55 s

**b3** Binas geeft 55,6 s.
Onze waarde verschilt $\frac{55-55{,}6}{55{,}6}\cdot 100\% = -3\%$

-3%

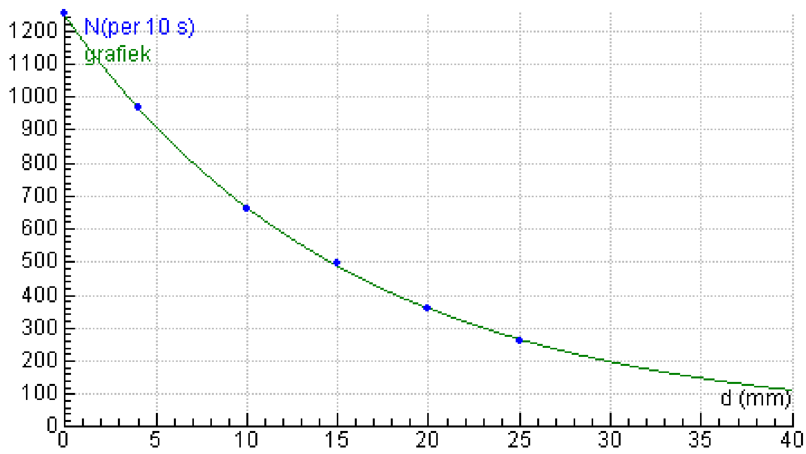
**c** Ja.
De achtergrondstraling is volgens deze laatste vier metingen gemiddeld $\frac{7+3+2+11}{24} = 1$ Bq , even veel als eerder ook gemeten.
Af en toe komen inderdaad behoorlijke afwijkingen voor van dat gemiddelde, naar boven en naar beneden.

–

**48** **a** Bij $d$ = 10 mm wordt wat meer dan de helft doorgelaten, bij $d$ = 20 mm wat meer dan een kwart, De halveringsdikte zal wat meer dan 10 mm zijn.

>10 mm

**b**




–

**c** Bij $d$ = 36 mm is nog een achtste van de straling over. Na 3 halveringsdiktes dus. De halveringsdikte is dan 12 mm — 12 mm

**d** 20% absorptie betekent 80% doorlating. Kijk bijvoorbeeld bij $N$ = 1000. Daar lees je af $d$ = 3,5 mm. — 3,5 mm

**e** 40% van 70% van de oorspronkelijke hoeveelheid: 0,40 x 0,70 = 0,28 = 28% — 28%

**f**

$\rho_{\text{lood}} = 11{,}3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{perspex}} = 1{,}2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{lucht}} = 1{,}29 \text{ kg/m}^3 \text{ (bij 273 K) } = 1{,}2 \text{ kg/m}^3 \text{ (bij 293 K)}$

Volgens de opgave geldt voor lood:

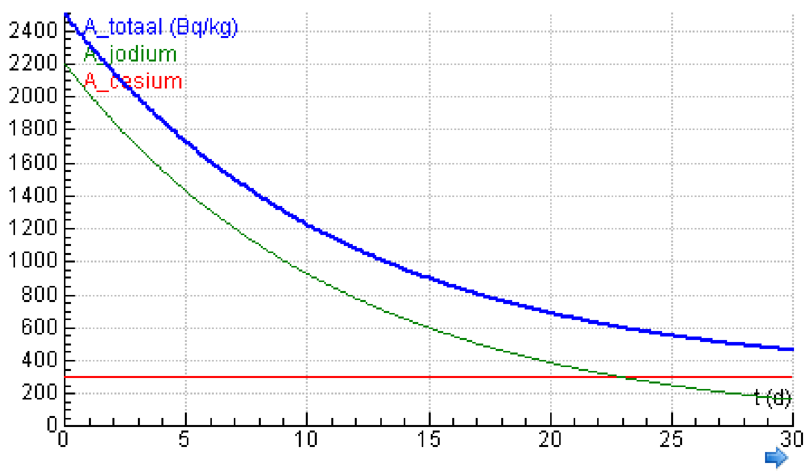
$\rho \cdot d_{\frac{1}{2}} = 11{,}3 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 135{,}6 \text{ kg/m}^2$

$\Rightarrow$ perspex: $1{,}2 \cdot 10^3 \cdot d_{\frac{1}{2}} = 135{,}6 \Rightarrow d_{\frac{1}{2}} = 0{,}113.. = 0{,}11 \text{ m}$

$\Rightarrow$ lucht: $1{,}2 \cdot d_{\frac{1}{2}} = 135{,}6 \Rightarrow d_{\frac{1}{2}} = 113 = 1{,}1 \cdot 10^2 \text{ m}$

0,11 m
$1{,}1 \cdot 10^2$ m

**49 a**




–

**b** Aflezen in grafiek bij A_totaal = 1300 Bq/kg: 9 dagen. — 9 d

Of berekenen: wanneer is A_jodium = 1300 – 1300 = 1000 Bq?

$$\left.\begin{array}{l} t_{1/2}(\text{jodium}) = 8d \\ A(t) = 2200\cdot(\frac{1}{2})^{t/t_{1/2}} \end{array}\right\} \Rightarrow 1000 = 2200\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^{t/8} \Rightarrow \frac{1000}{2200} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/8}$$

$$\Rightarrow \log\frac{1000}{2200} = \frac{t}{8}\cdot\log\frac{1}{2} \Rightarrow \log\frac{1}{2{,}2} = \frac{t}{8}\cdot\log\frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow -\log 2{,}2 = \frac{t}{8}\cdot(-\log 2) \Rightarrow t = 8\cdot\frac{\log 2{,}2}{\log 2} = 9{,}10.. = 9{,}1 \text{ d}$$

9,1 d

*c* De activiteit wordt op den duur alleen nog bepaald door de aanwezigheid van $^{127}$Cs, met een halveringstijd van 30 jaar.

$$250 = 300\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^{t/30}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^{t/30} = \frac{250}{300} \Rightarrow \frac{t}{30}\cdot\log\left(\frac{1}{2}\right) = \log\left(\frac{250}{300}\right) \Rightarrow t = 7{,}89.. = 7{,}9 \text{ jaar}$$

Na zo lange tijd zijn er allang weer verse oogsten geweest.
Bewaren heeft geen zin.

–

**50** *a* $^{99}\text{Tc}^{m}$ is een γ−straler met een halveringstijd van 6,0 uur,

$$A(t) = A(0)\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^{t/6{,}0}$$

$$\frac{A(t)}{A(0)} = 0{,}20 = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/6{,}0} \Rightarrow \frac{t}{6{,}0}\cdot\log\left(\frac{1}{2}\right) = \log(0{,}20) \Rightarrow t = 13.9.. = 14 \text{ uur}$$

14 u

*b* Eerst de totale 'dode tijd' berekenen:

$$5\% \to 250 \text{ ns} \Rightarrow 100\% \to 20\times 250 = 5000 \text{ ns} = 5000\cdot 10^{-9} = 5\cdot 10^{-6} \text{ s}$$

De camera kan per seconde maximaal $\frac{1}{5\cdot 10^{-6}} = 2\cdot 10^{5}$ $\gamma$'s verwerken.

$2\cdot 10^{5}$

*c* De β's van $^{43}$K leveren geen bijdrage aan de afbeelding; zij worden geabsorbeerd door het omringende weefsel en kunnen daar schade aanbrengen.
$^{99}\text{Tc}^{m}$ heeft dat nadeel niet. Dat zendt alleen γ's uit.

–

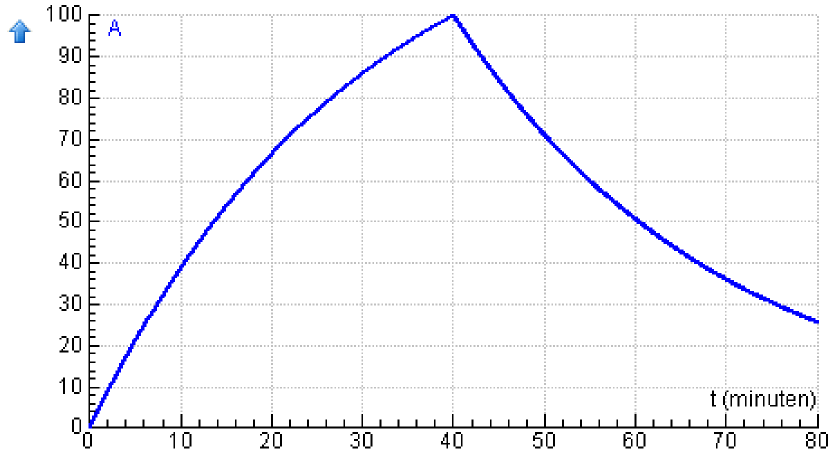
**51** *a*

$${}^{14}_{7}\text{N} + {}^{1}_{1}\text{H} \to {}^{11}_{6}\text{C} + {}^{4}_{2}\text{He}$$

$${}^{11}_{6}\text{C} \to {}^{0}_{+1}\text{e} + {}^{11}_{5}\text{B}$$

–

*b*




In de eerste 40 minuten is er én (lineaire) groei, én verval.
In de tweede 40 minuten is er alleen verval met halveringstijd 20,4 minuten.

–

*c*

$$\left.\begin{array}{l} \Delta x = c\cdot\Delta t \\ c = 3\cdot 10^{8} \text{ m/s} \end{array}\right\} \Rightarrow 2\cdot 10^{-3} = 3\cdot 10^{8}\cdot\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{2\cdot 10^{-3}}{3\cdot 10^{8}} = 6{,}6..\cdot 10^{-12} = 7\cdot 10^{-12} \text{ s}$$

7 ps

**52** *a*

$${}^{220}_{86}\text{Rn} \to {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{216}_{84}\text{Po}$$

–

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **b** | $^{220}$Rn 220,01140 u \| $^{4}$He 4,002603 u; $^{216}$Po 216,00190 u +<br>links 220,01140 u \| rechts 220,004503 u<br>$\Delta m = 220{,}01140 - 220{,}004503 = 0{,}006897$ u<br>$[\times 931{,}49 \text{ MeV/u}] \Rightarrow \Delta E = 6{,}4244.. = 6{,}42$ MeV | 6,42 MeV |
| | **c** | $\lvert m_d . v_d \rvert = \lvert m_\alpha . v_\alpha \rvert \Rightarrow \frac{\lvert v_d \rvert}{\lvert v_\alpha \rvert} = \frac{m_\alpha}{m_d} = \frac{4}{216} = \frac{1}{54}$ | 1 : 54 |
| | **d** | $\frac{E_{k,d}}{E_{k,\alpha}} = \frac{\frac{1}{2} m_d \cdot v_d^2}{\frac{1}{2} m_\alpha \cdot v_\alpha^2} = \frac{m_d \cdot v_d \cdot v_d}{m_\alpha \cdot v_\alpha \cdot v_\alpha} = \frac{\lvert m_d \cdot v_d \rvert}{\lvert m_\alpha \cdot v_\alpha \rvert} \cdot \frac{\lvert v_d \rvert}{\lvert v_\alpha \rvert} = 1 \cdot \frac{\lvert v_d \rvert}{\lvert v_\alpha \rvert} = \frac{1}{54}$<br>of<br>$\frac{E_{k,d}}{E_{k,\alpha}} = \frac{\frac{1}{2} m_d \cdot v_d^2}{\frac{1}{2} m_\alpha \cdot v_\alpha^2} = \frac{m_d}{m_\alpha} \cdot \frac{v_d^2}{v_\alpha^2} = \frac{m_d}{m_\alpha} \cdot \frac{m_\alpha^2}{m_d^2} = \frac{m_\alpha}{m_d} = \frac{4}{216} = \frac{1}{54}$ | 1 : 54 |
| **53** | **a** | $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$<br>dus als $E_k \rightarrow 0{,}50 \cdot E_k$, dan $v^2 \rightarrow 0{,}50 \cdot v^2$ of $v \rightarrow \sqrt{0{,}50} \cdot v = 0{,}707.. \cdot v$ | 0,71 |
| | **b** | De snelheid neemt af met een factor $\frac{20.000}{2} = 10.000$<br>$(0{,}707..)^x = \frac{1}{10.000}$<br>$\Rightarrow x \cdot \log(0{,}707..) = \log\left(\frac{1}{10.000}\right) \Rightarrow x = 26{,}5.. = 27$ botsingen | 27 |
| | **c** | Energieafname per neutron:<br>$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_b^2 \approx -\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_b^2$,<br>want $v_e \ll v_b$<br>$\Rightarrow P = \frac{\frac{1}{2} m \cdot v_b^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1{,}67.. \cdot 10^{-27} \cdot (20 \cdot 10^6)^2}{10^{-4}} = 3{,}34.. \cdot 10^{-9} = 3{,}3 \cdot 10^{-9}$ W | 3,3 nW |
| **54** | **a** | ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U}$<br>${}^{239}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{239}_{93}\text{Np}$<br>${}^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{239}_{94}\text{Pu}$ | – |
| | **b1** | De neutronen moeten niet afgeremd worden. Juist snelle neutronen splijten $^{239}$Pu. | – |
| | **b2** | Als neutronen botsen met zware kernen, zullen zij weinig kinetische energie overdragen en dus weinig snelheid verliezen. | – |
| | **b3** | Splijting van $^{239}$Pu met snelle neutronen is een proces met een niet erg hoog rendement. Voor een toch behoorlijke opbrengst moet de kans op een splijting verhoogd worden door splijtstof met een grote zuiverheid te gebruiken. | – |
| **55** | **a** | $m\left({}^{12}\text{C}\right) = 12{,}000000$ u<br>$m\left(3 \cdot {}^{4}\text{He}\right) = 3 \cdot 4{,}002603 = 12{,}007809$ u<br>Voor splijting moet massa, dus energie toegevoerd worden. | – |
| | **b** | ${}^{11}_{5}\text{B} + {}^{1}_{1}\text{p} \rightarrow {}^{12}_{6}\text{C}$ | – |

**c** N.B. In Binas tabel 25 worden atoommassa's gegeven. de vergelijking uit [b] is een kernvergelijking.
Als je links en rechts 6 elektronen toevoegt, kun je voor de berekening van het massadefect de massa van een waterstofatoom invullen (dus niet de massa van een proton uit tabel 7).

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{11}B$ | 11,009305 u | | $3 \cdot {}^{4}He$ | 3 x 4,002603 u | |
| $^{1}H$ | 1,007825 u | + | | | + |
| links | 12,017130 u | | rechts | 12,007809 u | |

De massa links is groter dan de massa rechts. –

**d** $\Delta m = 12{,}017130 - 12{,}007809 = 0{,}009321$ u
$[\times 931{,}49 \text{ MeV/u}] \Rightarrow \Delta E = 8{,}6824.. = 8{,}682$ MeV — 8,682 MeV

**e** Het afvalproduct is helium, een onschadelijk edelgas. –

**f** De kans dat een proton een boriumkern raakt is erg klein. –

**56 a** Neem als volume 1 L = 1 dm³.

Kubus met ribbe $r_k$

Volume $1 = r_k^3 \Rightarrow r_k = 1{,}00..$ dm

Oppervlak $6 \cdot r_k^2 = 6 \cdot (1{,}00..)^2 = 6{,}00..$ dm²

Bol met straal $r_b$

Volume $1 = \frac{4}{3}\pi \cdot r_b^3 \Rightarrow r_b = \sqrt[3]{\frac{1}{\frac{4}{3}\pi}} = 0{,}620..$ dm

Oppervlak $4\pi \cdot r_b^2 = 4\pi \cdot (0{,}620..)^2 = 4{,}83..$ dm²

$$\Rightarrow \frac{\text{opp. kubus}}{\text{opp. bol}} = \frac{6{,}00..}{4{,}83..} = 1{,}24..$$

1,24 : 1

**b** Bolvormig, dan is het warmteafgevende oppervlak verhoudingsgewijs het kleinst. –

**c** Een dunne platte schijf, dan is het warmteafgevende oppervlak verhoudingsgewijs het grootst. –

**57 a1** $^{202}_{80}Hg + {}^{1}_{1}p \left(\rightarrow {}^{203}_{81}Tl\right) \rightarrow {}^{201}_{81}Tl + 2 \cdot {}^{1}_{0}n$ –

**a2** $^{203}_{81}Tl$ –

**b**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{203}Tl$ | 202,97234 u | | $^{201}Tl$ | 200,97075 u | |
| | | | $2 \cdot {}^{1}n$ | 2,01733 u | + |
| tussen kern | 202,97234 u | | rechts | 202,98808 u | |

Er ontbreekt $\Delta m = 202{,}98808 - 202{,}97234 = 0{,}01574$ u
Extra energie van tussenkern $0{,}01574 \cdot 931{,}49 = 14{,}661.. = 14{,}66$ MeV — 14,66 MeV

**58 a** Bij een splijtingsbom wordt de hoeveelheid explosief beperkt door de kritieke massa. De fusiebom kent die beperking niet. -

**b** Neutronen 'voelen' de elektrische velden niet van de protonen en elektronen. -

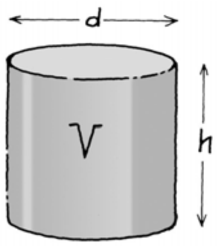
**c** $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$14 \cdot 10^6 \cdot 1{,}60.. \cdot 10^{-19} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}67.. \cdot 10^{-27} \cdot v^2$

$\Rightarrow v^2 = 2{,}678.. \cdot 10^{15} \Rightarrow v = 5{,}17.. \cdot 10^7 = 5{,}2 \cdot 10^7$ m/s — $5{,}2 \cdot 10^7$ m/s

N.B. Dit is ongeveer 17% van de lichtsnelheid. De snelheid zou eigenlijk berekend moeten worden met formules uit de relativiteitstheorie. De uitkomst zou dan wat kleiner zijn.

***d***




$d = h = x$

$V_{\text{cilinder}} = A \cdot h = \pi(\tfrac{1}{2}d)^2 \cdot h = \tfrac{1}{4}\pi \cdot x^3$

1,19 dm

Het volume van de kritische massa:

$$\left.\begin{array}{l} m = \rho \cdot V \\ \rho_{\text{uranium}} = 19{,}1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \end{array}\right\} \Rightarrow 25 = 19{,}1 \cdot 10^3 \cdot V \Rightarrow V = 0{,}001308.. \text{ m}^3 = 1{,}308.. \text{ dm}^3$$

$$V = \tfrac{1}{4}\pi \cdot x^3 = 1{,}308.. \Rightarrow x = \sqrt[3]{\frac{1{,}308..}{\frac{1}{4}\pi}} = 1{,}185.. = 1{,}19 \text{ dm}$$

**59** ***a***

$^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{131}_{54}\text{Xe}$ –

***b***

Bij een activiteit A = 1 Bg
neemt een volwassene per dag op

$H = 22 \text{ (m}^3) \cdot 5{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ (Sv/m}^3) = 1{,}29.. \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 1{,}29.. \cdot 10^{-4} \text{J/kg}$

$\Rightarrow E = 24 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)} \cdot 1{,}29.. \cdot 10^{-4} \text{ (J/kg)} = 3{,}11.. \cdot 10^{-6} = 3{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ –

Voor een kind is dat

$H = 15 \text{ (m}^3) \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-6} \text{ (Sv/m}^3) = 1{,}24.. \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 1{,}24.. \cdot 10^{-4} \text{ J/kg}$

$\Rightarrow E = 15 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)} \cdot 1{,}24.. \cdot 10^{-4} \text{ (J/kg)} = 1{,}86.. \cdot 10^{-6} = 1{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

Een volwassene absorbeert de meeste stralingsenergie.

***c***

1. Bij jodiumconcentratie 10 mg/dm$^3$ is de opname door de schildklier geringer dan bij een normale concentratie van 0,5 mg/dm$^3$: zie grafiek. –
2. Het jodium dat de schildklier toch nog opneemt zal voor een verhoudingsgewijs geringer deel bestaan uit radioactief jodium.

***d***

Tot een maand na het ongeluk.
De halveringstijd van $^{131}$I is 8 d. Na vier halveringstijden = 32 d is in de omgeving nog maar ongeveer 6% van het radioactieve jodium over. –

## Toets

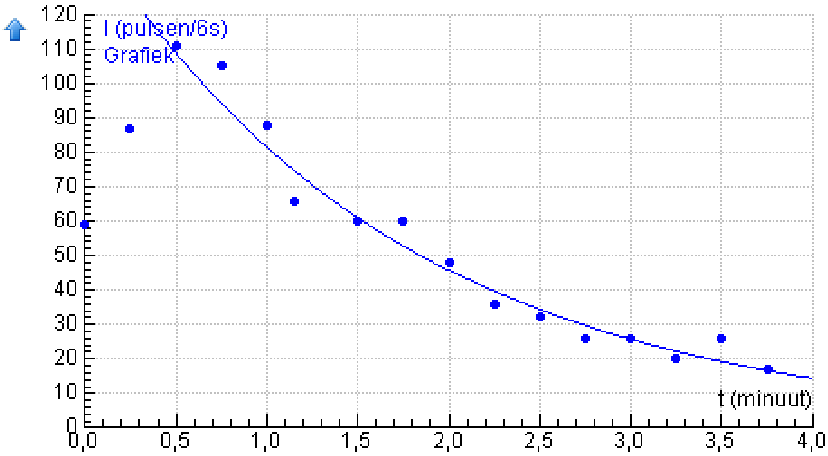
## 1 Protactinium

*a* $^{238}_{92}\text{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{91}\text{Pa} \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{92}\text{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{230}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} \ldots$

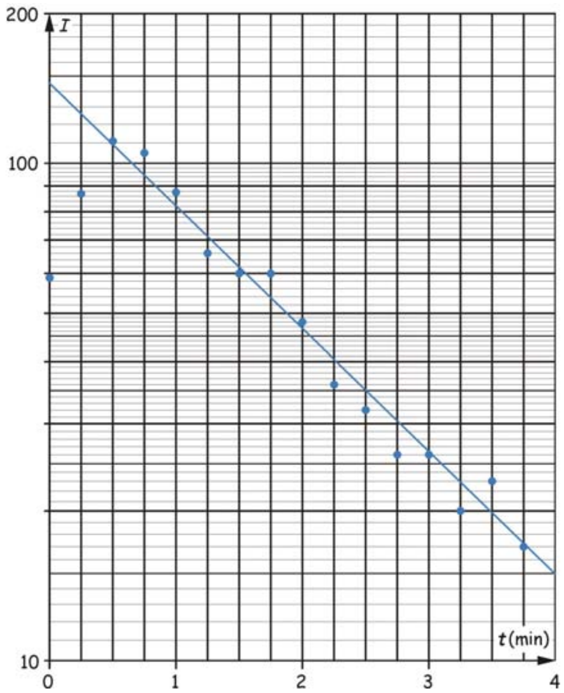
*b* De β's uit $^{234}$Pa hebben een grotere energie (2,2 MeV) dan de β's uit $^{234}$Th (0,192 MeV)

*c1* Het getal 329 in de tabel in het boek is een tikfout, dat moet 32 zijn.
Achtergrondstraling is 320 pulsen in 300 s, dus ongeveer 1 Bq. Gedurende een meting van 6 s zal de achtergrondstraling ongeveer 6 Bq bijdragen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 59 | 88 | 48 | 26 |
| 87 | 66 | 36 | 20 |
| 111 | 60 | 32 | 26 |
| 105 | 60 | 26 | 17 |



Op logaritmisch papier wordt de *I(t)*−grafiek een dalende rechte lijn.




Je kunt ook op gewoon grafiekenpapier log(*I*) uitzetten tegen de tijd *t*. Ook dan krijg je als grafiek een rechte lijn.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1,77 | 1,94 | 1,68 | 1,41 |
| 1,94 | 1,82 | 1,56 | 1,30 |
| 2,05 | 1,78 | 1,51 | 1,41 |
| 2,02 | 1,78 | 1,41 | 1,23 |

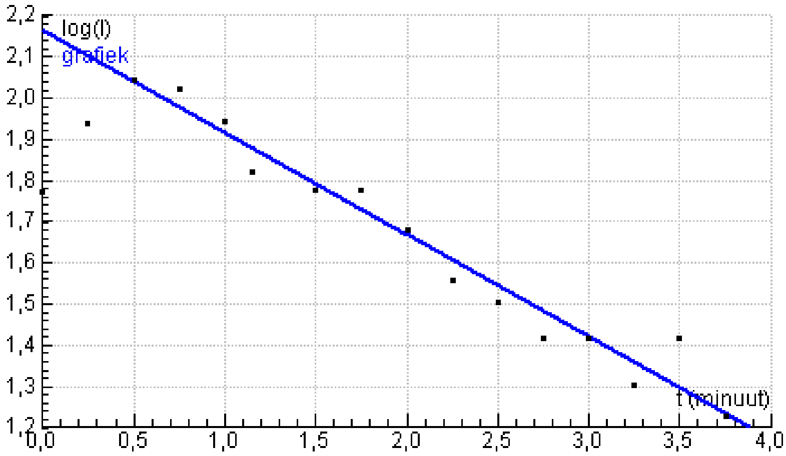
Na één halveringstijd:

$I_0 \rightarrow \frac{1}{2}I_0 \Rightarrow \log(I_0) \rightarrow \log(\frac{1}{2}I_0) = \log(I_0) - \log(2) = \log(I_0) - 0{,}301..$

Bij elke halvering van de intensiteit neemt de logaritme met 0,301.. af.

Zo ook na twee halveringstijden:

$I_0 \rightarrow \frac{1}{4}I_0 \Rightarrow \log(I_0) \rightarrow \log(\frac{1}{4}I_0) = \log(I_0) - \log(4) = \log(I_0) - 0{,}602..$



**c2** *Volgens de (eerste en) tweede grafiek:*
De intensiteit loopt terug van 100 naar 25 in 3,10 − 0,65 = 2,45 minuut. Dat duurt twee halveringstijden. De halveringstijd volgens deze grafiek is 1,2 minuut. (Binas geeft 1,17 min.)

1,2 min

*Volgens de derde grafiek:* $\log(I_0) = 2{,}16$.
Na 2 halveringstijden is

$$\log(I) = \log(0{,}25 \cdot I_0) = \log(I_0) + \log(0{,}25) = 2{,}16 - 0{,}602.. = 1{,}56$$

$$\Rightarrow 2 \cdot t_{1/2} = 2{,}45 \text{ min}$$

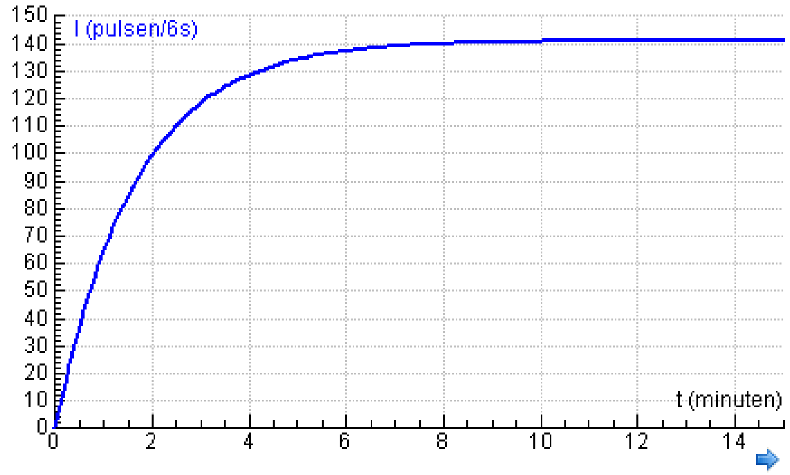
Na 3 halveringstijden is

$$\log(I) = \log(0{,}125 \cdot I_0) = \log(I_0) + \log(0{,}125) = 2{,}16 - 0{,}903.. = 1{,}26$$

$$\Rightarrow 3 \cdot t_{1/2} = 3{,}65 \text{ min}$$

Dus volgens deze grafiek is de halveringstijd 1,2 min. (Binas geeft 1,17 min.)

**d** Onderin het flesje bevindt zich nog $^{234}$Th, de ‘moeder’ van $^{234}$Pa.
De halveringstijd van ‘moeder’ $^{234}$Th (24,1 d) is zeer veel langer dan die van ‘dochter’ $^{234}$Pa (1,17 min). In de eerste tijd na het schudden zal de hoeveelheid $^{234}$Th en dus de productie van $^{234}$Pa nagenoeg constant zijn.
Dat $^{234}$Pa zal gelijk vervallen met een halveringstijd van 1,17 min.
Hoe meer $^{234}$Pa er aanwezig is, des te groter zal zijn activiteit zijn. Na enige tijd zal er een evenwicht ontstaan tussen productie en verval van $^{234}$Pa




–

## 2 Plutonium

**a1** $E_\alpha = 5{,}2$ MeV

5,2 MeV

**a2**

$$\left.\begin{array}{l} E = N \cdot E_\alpha = A \cdot t \cdot E_\alpha \\ A = 10^{-4} \text{ Bq} \\ t = 1 \text{ jaar} = 3{,}15 \cdot 10^{7} \text{ s} \end{array}\right\} \Rightarrow E = 3{,}15 \cdot 10^{7} \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}2 = 1{,}63.. \cdot 10^{4} = 1{,}6 \cdot 10^{4} \text{ MeV}$$

$$(\times 1{,}602.. \cdot 10^{-13}) \Rightarrow E = 2{,}62.. \cdot 10^{-9} = 2{,}6 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

$2{,}6 \cdot 10^{-9}$ J

**b1** $V_{\text{bol}} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot (40 \cdot 10^{-6})^3 = 2{,}68.. \cdot 10^{-13} = 2{,}7 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3$

$2{,}7 \cdot 10^{-13}$ m$^3$

**b2** $m = \rho \cdot V = 10^3 \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-13} = 2{,}7 \cdot 10^{-10}$ kg

$2{,}7 \cdot 10^{-10}$ kg

**b3**

$$D = \frac{E}{m} = \frac{2{,}62.. \cdot 10^{-9}}{2{,}68.. \cdot 10^{-10}} = 9{,}78.. = 9{,}8 \text{ Gy}$$

9,8 Gy

**c** Neen.

$$H = W_R \cdot \frac{E}{m} = (0{,}12 \cdot 20) \cdot \frac{2{,}62.. \cdot 10^{-9}}{1} = 6{,}29.. \cdot 10^{-9} \text{ Sv} < 500 \text{ mSv}$$

–

| | | | |
|---|---|---|---|
| **3** | | **Galileo** | |
| | ***a*** | Van het α-verval van radioactieve elementen in de aardkorst: uranium, thorium en hun vervalproducten. | – |
| | ***b*** | $^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{234}_{92}\text{U}$<br>$^{238}$Pu 238,04951 u ; $^{4}$He 4,0026 u ; $^{234}$U 234,04095 u (+)<br>links 238,04951 u ; rechts 238,04355 u<br>$\Delta m = 238{,}04951 - 238{,}04355 = 0{,}005957$ u<br>$(\times 931{,}49) \Rightarrow \Delta E = 5{,}548.. = 5{,}55$ MeV | – |
| | ***c*** | Energieproductie per verval: $5{,}548.. \cdot 1{,}602.. \cdot 10^{-13} = 8{,}88.. \cdot 10^{-13}$ J<br>Energieproductie per seconde: $4{,}2 \cdot 10^{3}$ J<br>$\Rightarrow A = \dfrac{4{,}2 \cdot 10^{3}}{8{,}88.. \cdot 10^{-13}} = 4{,}72.. \cdot 10^{15} = 4{,}7 \cdot 10^{15}$ Bq | $4{,}7 \cdot 10^{15}$ Bq |