Opgaven 7.1 – 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)	–
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.	–
3		Neen. Als de bron weg is, is ook de straling weg. De straling heeft eerder wel moleculen geïoniseerd, maar geen atomen radioactief gemaakt.	–
4	*a*	$t_{1/2}\left(^{131}\text{I}\right) = 8{,}0\ \text{d}$ Je moet twee halveringstijden wachten, dus 16,0 d	16,0 d
	b	93,75% verdwenen betekent 6,25% over, dus na vier halveringstijden $\Rightarrow$ 32,0 d	32,0 d
5	*a*	$t_{1/2}\left(^{33}\text{P}\right) = 25\ \text{d}$	25 d
	b	$\frac{200}{25} = 8$ Na acht halveringstijden is er nog $0{,}5^8 = 0{,}0039 = 0{,}4\%$ over. Er is dus 99,6% vervallen	99,6%
	c	6,25% over bereik je na vier halveringstijden $\Rightarrow$ 100 d	100 d
6	*a¹*	$t_{1/2}\left(^{140}\text{Ba}\right) = 12{,}8\ \text{d}$ Een half jaar heeft $\frac{365}{2} = 182{,}5\ \text{d}$ dagen. Dit komt overeen met $\frac{182{,}5}{12{,}8} = 14$ halveringstijden.	14
	a²	Eén halveringstijd eerder heb je 2 x zoveel kernen; twee eerder 2^2 x zoveel enz. Bij het stopzetten waren er dus 2^{14} x zoveel kernen $\Rightarrow 2{,}5\cdot 10^{16} \times 2^{14} = 4{,}1\cdot 10^{20}$	$4{,}1\cdot 10^{20}$ Bq
7		12,5 bereik je na drie halveringstijden $\Rightarrow 3\cdot t_{1/2} = 24 \Rightarrow t_{1/2} = 8$ h	8 h
8		P: $8\ \text{j} = 2\cdot t_{1/2,\text{P}} \Rightarrow A_\text{P} = 800\cdot(\tfrac{1}{2})^2 = 200$ Bq Q: $8\ \text{j} = 4\cdot t_{1/2,\text{Q}} \Rightarrow A_\text{Q} = 400\cdot(\tfrac{1}{2})^4 = 25$ Bq De activiteit is dus nog 225 Bq	225 Bq
9		$150 \rightarrow 75 \rightarrow 37{,}5 \rightarrow 18{,}75$ Drie halveringstijden later komt overeen met ongeveer 15 d $\Rightarrow t_{1/2} \approx 5$ d $t_{1/2,\text{Rn}} = 3{,}8$ d en $t_{1/2,\text{Xe}} = 5{,}2$ d $\Rightarrow$ Het was ^{131}Xe	–
10		$d_\text{A} = 2\ \text{mm} = d_{1/2,\text{A}} \Rightarrow$ na plaatje A blijft de helft van de opvallende straling over. $d_\text{B} = 5\ \text{mm} = 2\cdot d_{1/2,\text{B}} \Rightarrow$ na plaatje B blijft een kwart van de opvallende straling over, dus een kwart van de helft van de oorspronkelijke straling: $\frac{1}{4}\cdot\frac{1}{2} = \frac{1}{8} = 0{,}125 = 12{,}5\%$	12,5%

11		$\left.\begin{array}{l}\frac{1}{8}=\left(\frac{1}{2}\right)^3\\ t_{1/2}\left({}^{14}C\right)=5730\text{ j}\end{array}\right\}\Rightarrow t=3\cdot t_{1/2}=3\cdot 5730=17190=17\cdot 10^3\text{ j}$	Ongeveer 17000 j geleden
12	***a***	β^-– en γ–straling	–
	b	$t_{1/2}$ = 30 j 150 j is dus 5 halveringstijden ⇒ afgenomen tot $\frac{100}{2^5}=3\%$	3%
13	***a***	${}^{36}_{18}\text{Ar}\left\|\begin{array}{l}\text{massagetal: 36 protonen + neutronen}\\ \text{atoomnummer: 18 protonen en 18 elektronen}\end{array}\right\}\Rightarrow 36-18=18\text{ neutronen}$	18
		${}^{226}_{88}\text{Ra}\left\|\begin{array}{l}\text{massagetal: 226 protonen + neutronen}\\ \text{atoomnummer: 88 protonen en 88 elektronen}\end{array}\right\}\Rightarrow 226-88=138\text{ neutronen}$	138
	b	Het positief geladen proton wordt door de positief geladen (protonen in de) kern afgestoten.	–
14	***a***	Binas tabel 25: $E=4{,}79\text{ MeV}$ Binas tabel 5: $1\text{ eV}=1{,}602\cdot 10^{-19}\text{ J}$ $\Rightarrow E=4{,}79\cdot 10^6\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}=7{,}637..\cdot 10^{-13}=7{,}67\cdot 10^{-13}\text{ J}$	$7{,}67\cdot 10^{-13}$ J
	b	Zie p. 62 voor de notatie [P]. Het vermogen in W (watt) is de energie *E* (in joule) die per seconde geleverd wordt, dus *E* = *P*·*t* [P] = J/s [A] = s^{-1} [E] = J ⇒ [*A*·E] = J/s	
	c	P = A·E = 3,7·1010·7,673·10–13 = 0,0283… = 28 mW.	28 mW
	d	Als er 4,2 J nodig is om 1 g water 1 °C in temperatuur te laten stijgen, dan is er voor 100 g water dat je 80 °C heter wilt maken 4,2·100·80 = 33600 J aan warmte nodig. Deze warmte komt vrij uit het radium: $Q=P\cdot t\Rightarrow 33600=0{,}0283..\cdot t\Rightarrow t=1{,}183..\cdot 10^6\text{ s }=\frac{1{,}183..\cdot 10^6}{7\cdot 24\cdot 60\cdot 60}=1{,}95..=2{,}0\text{ weken}$ In hoofdstuk 2 van deel 2 leer je deze formule : *Q* = *c*·*m*·*ΔT*. Hierin is *Q* de warmte en *c* de soortelijke warmte. $\left.\begin{array}{l}Q=c\cdot m\cdot\Delta T\\ c=4{,}2\cdot 10^3\text{ J/kg}\cdot{}^\circ\text{C}\\ m=100\text{ g}=0{,}100\text{ kg}\\ \Delta T=100-20=80\ {}^\circ\text{C}\end{array}\right\}\Rightarrow Q=4{,}2\cdot 10^3\cdot 0{,}100\cdot 80=33600\text{ J}$	2,0 weken
	e	De energie van de kernstraling warmt voortdurend het kernafval op. Zonder koeling zou de temperatuur te hoog kunnen oplopen (brand, smelten)	–
15	***a***	$P_{\text{el}}=0{,}07\cdot P_{\text{k},\alpha}$ $280=0{,}07\cdot P_{\text{k},\alpha}\Rightarrow P_{\text{k},\alpha}=4000=4\cdot 10^3\text{ W}$	–
	b	$\left.\begin{array}{l}E_{\text{k},\alpha}=5{,}5\text{ MeV}\\ 1\text{ eV}=1{,}602\cdot 10^{-19}\text{ J}\end{array}\right\}\Rightarrow E_{\text{k},\alpha}=5{,}5\cdot 10^6\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}=8{,}81..\cdot 10^{-13}\text{ J}$ Aantal α-deeltjes per seconde $=\frac{4\cdot 10^3\text{ J/s}}{8{,}81..\cdot 10^{-13}\text{ J}}=4{,}53..\cdot 10^{15}=4{,}5\cdot 10^{15}\text{ Bq}$	$4{,}5\cdot 10^{15}$ Bq
	c	Het geleverde vermogen *P* is evenredig met de activiteit *A* ⇒ *P* neemt in hetzelfde tempo af als *A*; $35=\frac{280}{8}\Rightarrow t=8\cdot 86=688\text{ j}$	$6{,}9\cdot 10^2$ jaar

16	***a***	${}^{28}_{14}\mathrm{Si}\left\| \begin{matrix}\text{massagetal: 28 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 14 protonen}\end{matrix} \right\} \Rightarrow 28-14=14 \text{ neutronen}$	14
	b	${}^{31}_{14}\mathrm{Si} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{31}_{15}\mathrm{P}$ (stabiel) ${}^{32}_{14}\mathrm{Si} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{32}_{15}\mathrm{P}$ ($\beta^- -$straler)	–
17	***a***	${}^{206}_{81}\mathrm{Tl} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ (stabiel) ${}^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ (stabiel) ${}^{213}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{213}_{84}\mathrm{Po}$ (α-straler) of ${}^{213}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{209}_{81}\mathrm{Tl}$ (β^--straler)	–
	b	${}^{238}_{96}\mathrm{Cm} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{234}_{94}\mathrm{Pu}$	–
	c	${}^{224}_{87}\mathrm{Fr} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{224}_{88}\mathrm{Ra}$	–
18	***a***	${}_{80}\mathrm{Hg} \rightarrow {}_{79}\mathrm{Au}$ In de kwikkern zou een proton moeten verdwijnen of veranderen in een neutron.	–
	b	${}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow {}_{79}\mathrm{Au}$ In de loodkern zouden drie protonen moeten verdwijnen of veranderen in neutronen.	–
19	***a***	Z = 63 hoort bij Eu, europium	–
	b	${}^{147}_{63}\mathrm{Eu}\left\| \begin{matrix}\text{massagetal: 147 protonen + neutronen} \\ \text{atoomnummer: 63 protonen}\end{matrix} \right\} \Rightarrow 147-63=84 \text{ neutronen}$	84
20		Ontstaan uit α−verval van polonium−215: ${}^{215}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{211}_{82}\mathrm{Pb}$ Daarna β⁻−verval: ${}^{211}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{211}_{83}\mathrm{Bi}$ Anders geschreven: ${}^{215}_{84}\mathrm{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{211}_{82}\mathrm{Pb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{83}\mathrm{Bi}$	–
21	***a***	${}^{235}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{231}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\beta^-} {}^{231}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\alpha} {}^{227}_{89}\mathrm{Ac}$ Nu zijn er twee mogelijkheden naar ${}^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ of ${}^{227}_{89}\mathrm{Ac} \xrightarrow{\alpha} {}^{223}_{87}\mathrm{Fr} \xrightarrow{\beta^-} {}^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ of ${}^{227}_{89}\mathrm{Ac} \xrightarrow{\beta^-} {}^{227}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ Verder via ${}^{223}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{219}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{215}_{84}\mathrm{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{211}_{82}\mathrm{Pb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{83}\mathrm{Bi}$ Vanaf hier zijn er twee mogelijkheden naar het stabiele ${}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$ of ${}^{211}_{83}\mathrm{Bi} \xrightarrow{\alpha} {}^{207}_{81}\mathrm{Tl} \xrightarrow{\beta^-} {}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$ of ${}^{211}_{83}\mathrm{Bi} \xrightarrow{\beta^-} {}^{211}_{84}\mathrm{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$	–
	b	${}^{176}_{71}\mathrm{Lu} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{176}_{72}\mathrm{Hf}$ ${}^{241}_{95}\mathrm{Am} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{237}_{93}\mathrm{Np}$	–
	c	Ontstaan uit α−verval van thorium−230: ${}^{230}_{90}Th \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ Daarna α−verval: ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ Anders geschreven: ${}^{230}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\mathrm{Rn}$	–
22	***a***	${}^{58}_{26}\mathrm{Fe} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{59}_{26}\mathrm{Fe}$	–
	b[1]	$\frac{137}{548} = 0{,}25 \Rightarrow 2 \cdot t_{½} = 90 \Rightarrow t_{½} = 45$ d	45 d

b [2]	45 dagen volgens Binas tabel 25. Klopt.	–
c	Men zal vinden: $\frac{137}{4} = 34\ \text{Bq}$	34 Bq

Opgaven 7.2 – Toepassingen en gevaren van straling

23	***a***	Nee, een blad papier houdt α's al tegen. Ze zullen dus niet buiten het doosje komen.	–
	b	De verbrandingsgassen zullen het radioactieve Am bevatten zodat slachtoffers en hulpverleners besmet kunnen worden.	–
24	***a***	Voor dit onderzoek is een γ-straler nodig. Zelfs de β's zullen door de pijp en de grond geabsorbeerd worden.	–
	b	Je gebruikt een stof met een kortehalveringstijd, want na het onderzoek heb je die stof niet meer nodig.	–
25	***a***	$t_{½}$ = 30 j = 2,6·10^5 h >> 1 h ⇒ in 1 h neemt de activiteit niet merkbaar af.	–
	b	*A* = 37 kBq ⇒ er vervallen 37·10^3 kernen per s ⇒ aantal in 1 h is 37·10^3·3600 = 1,33·10^8	1,3·10^8
	c	1 MeV = 1,6·10^{-13} J *E* = 0,10·1,33·10^8·0,66·1,6·10^{-13} = 2,13·10^{-6} J	2,3·10^{-6} J
	d	$H = 0{,}8 \cdot \frac{2{,}13 \cdot 10^{-6}}{60} = 2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Sv	3·10^{-8} Sv
26		Je wordt niet besmet, want er komt geen uranium in je mond. Je wordt wel een beetje bestraald.	–
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***	$H = 1 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-9}} = 1 \cdot 10^{3}$ Sv	1·10^3 Sv
	b	$H = W_{\mathrm{R}} \frac{E}{m} \Rightarrow E = \frac{H \cdot m}{W_{\mathrm{R}}} = \frac{50 \cdot 1{,}5}{20} = 3{,}8$ J	3,8 J
	c	De amoebe bestaat maar uit één cel. Als je bij de kip ook zo'n hoge dosis nodig zou hebben om hem te doden, zou dat betekenen dat *alle* cellen van de kip kapot gemaakt zouden moeten worden. Dat is niet zo, een beperkt aantal kapotte cellen is al voldoende om een kip te laten overlijden.	–
29		Zij ontvangt dus een dosis van 20·7,0·10^{-6} = 0,14 mSv per week. Zelfs als 52 weken per jaar zou werken, zou ze nog maar 7,3 mSv ontvangen. Dat is dus minder dan de 20 mSv die beroepshalve is toegestaan.	–

Opgaven 7.3 – Kernenergie

30 ***a***

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

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

–

b

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

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

$1{,}11 \cdot 10^{-17}$ kg

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

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

$6{,}24 \cdot 10^{12}$ MeV

31 ***a***

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

–

b Als je links 92 elektronen optelt bij ^{238}U, en rechts ook: 2 bij ^{2}He en 90 bij ^{234}Th, dan 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

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

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

c

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

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

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

32 ***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

${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04393 u	${}^{139}_{54}\text{Xe}$	$139 \cdot 0{,}9941 =$	138,1799 u	
${}^{1}_{0}\text{n}$	1,008665 u	${}^{94}_{38}\text{Sr}$	$94 \cdot 0{,}9910 =$	93,154 u	
	+	$3 \cdot {}^{1}_{0}\text{n}$	$3 \cdot 1{,}008665 =$	3,025995 u	+
links	236,052595 u		rechts	234,359895 u	

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

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

$2{,}81 \cdot 10^{-27}$ kg

c

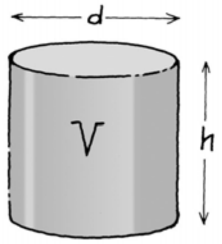
$$E = 1{,}6927 \cdot 931{,}49 = 1{,}5767.. \cdot 10^3 = 1{,}577 \cdot 10^3\ \text{MeV} = 1{,}577\ \text{GeV}$$

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

1,577 GeV
$2{,}526 \cdot 10^{-10}$ J

33	***a***[1] ***a***[2]	${}^{4}_{2}\text{He} + {}^{14}_{7}\text{N} \rightarrow {}^{18}_{9}\text{F} \rightarrow {}^{17}_{8}\text{O} + {}^{1}_{1}\text{H}$	–
	b[1]	Σm_{links} = 4,002603 + 14,00307 = 18,005673 u Σm_{rechts} = 16,99913 + 1,007825 = 18,006955 u > Σm_{links} Een reactie verloopt alleen maar spontaan als $\Sigma m_{links} > \Sigma m_{rechts}$. Om deze reactie te laten verlopenheb je dus extra energie nodig (endotherm).	–
	b[2]	Er is nodig: Δm = 18,006955 − 18,005673 = 1,282·10^{-3} u = 1,282·10^{-3}·931,49 = 1,194 MeV (zie tabel 7)	1,194 MeV
34		E = 0,050 eV = 0,050·1,6·10^{-19} = 8,0·10^{-21} J m = 1,67493·10^{-27} kg (tabel 7) ½·1,67493·10^{-27}·v^2 = 8,0·10^{-21} $\Rightarrow$ v^2 = 9,55..·10^6 $\Rightarrow$ v = 3,1·10^3 m/s	3,1 km/s
35	***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.	–
	b	Cadmium absorbeert neutronen goed. Per kernreactie mag maar één neutron overblijven voor een volgende reactie (vermenigvuldigingsfactor is 1). Dan levert de kernreactor een constant vermogen.	–
	c	Bij een kritieke reactor is de vermenigvuldigingsfactor van de neutronen precies gelijk aan 1. Als die groter wordt ontploft hij.	–
	d	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. Zie c.)	–
36	***a***	In 11 minuten $E = P \cdot t = 200 \cdot (11 \cdot 60) = 132 \cdot 10^3 \text{ J} \left[\div 1{,}602 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} \right] = 8{,}23.. \cdot 10^{17} \text{ MeV}$ 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	4,1·10^{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	1,5·10^{-12} kg
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



$$d = h = x$$

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

1,2 dm

Het volume van de kritische massa:

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

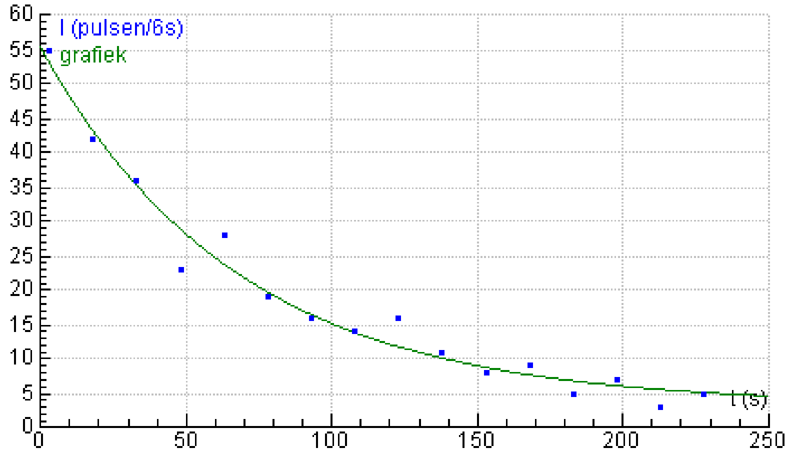
$$V = \tfrac{1}{4}\pi \cdot x^3 = 1{,}308.. \Rightarrow x = \sqrt[3]{\frac{1{,}308..}{\tfrac{1}{4}\pi}} = 1{,}185.. = 1{,}19 \text{ dm}$$

Opgaven hoofdstuk 7

39		De feitelijke meettijd voor die 5000 pulsen was 60 − 5000·12·10^{-6} = 59,375 s Omrekenen naar een volle minuut: $\frac{60}{59,375}\cdot 5000 = 5052 = 5,05\cdot 10^3$ pulsen	5,05·10^3
40	***a***	$^{204}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{204}_{81}Tl$ $^{207}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{207}_{81}Tl$ $^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{208}_{81}Tl$ $^{206}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{206}_{81}Tl$	–
	b	Al deze thalliumisotopen zijn β−stralers. Als je die *vlakbij* je oog hebt, helpt dat dus niet als beveiging.	–
41	***a¹***	$E_\alpha = 4,79$ MeV Binas tabel 25	–
	a²	$\left.\begin{array}{l} E = \frac{1}{2}m\cdot v^2 \\ E = 4,79\cdot 10^6\cdot 1,60..\cdot 10^{-19} = 7,673..\cdot 10^{-13}\text{ J}\end{array}\right\} 7,673..\cdot 10^{-13} = \frac{1}{2}\cdot 6,6\cdot 10^{-27}\cdot v^2$ $\Rightarrow v^2 = 2,325..\cdot 10^{14} \Rightarrow v = 1,52..\cdot 10^7 = 1,5\cdot 10^7\text{m/s}$ 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.	–
	b	$\frac{4,79\text{ MeV}}{34\text{ eV}} = \frac{4,79\cdot 10^6}{34} = 1,40..\cdot 10^5 = 1,4\cdot 10^5$ ionen	1,4·10^5
	c	$\left.\begin{array}{l}\text{dracht } \Delta x = v_{gem}\cdot \Delta t \\ v_{gem} = \frac{1,5\cdot 10^7 + 0}{2} = 0,75\cdot 10^7\text{ m/s}\end{array}\right\} \Rightarrow 0,03 = 0,75\cdot 10^7\cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 4\cdot 10^{-9}\text{ s}$	4 ns
42		Je kunt een bevolkingsonderzoek naar de gezondheid in een gebied met hoge achtergrondstraling vergelijken met een onderzoek in een gebied met lage achtergrondstraling. Kunnen verschillen toegeschreven worden aan het verschil in achtergrondstraling? Dat zou dan bestudeerd kunnen worden.	–
43	***a***	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
	b	(zie tabel)	–

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

c



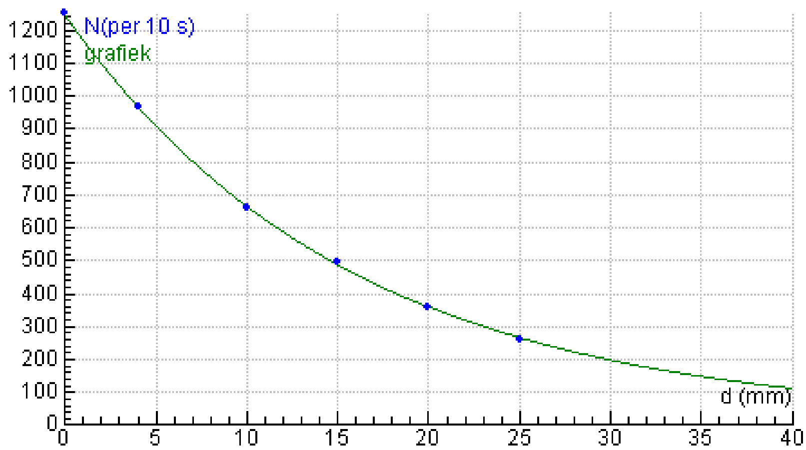
–

d1 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

d2 Binas geeft 55,6 s.
Onze waarde verschilt $\frac{55-55{,}6}{55{,}6}\cdot 100\% = -3\%$ — -3%

44 ***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

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

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

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

De dichtheid van perspex is $\frac{11{,}3}{1{,}2} = 9{,}416..$ keer *zo klein* als die van lood.

De halveringsdikte is dus 9,416.. keer *zo groot* $\Rightarrow$
$d_{½\ \text{perspex}}$ = 9,416..·12 = 113 mm = 11 cm
De dichtheid van lucht is nog een factor 1000 kleiner! Dus is de halveringsdikte van lucht 11 cm × 1000 = $1{,}1\cdot 10^2$ m

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

45 ***a***

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

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

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

b

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

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

$3{,}6\cdot 10^{17}$

c

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

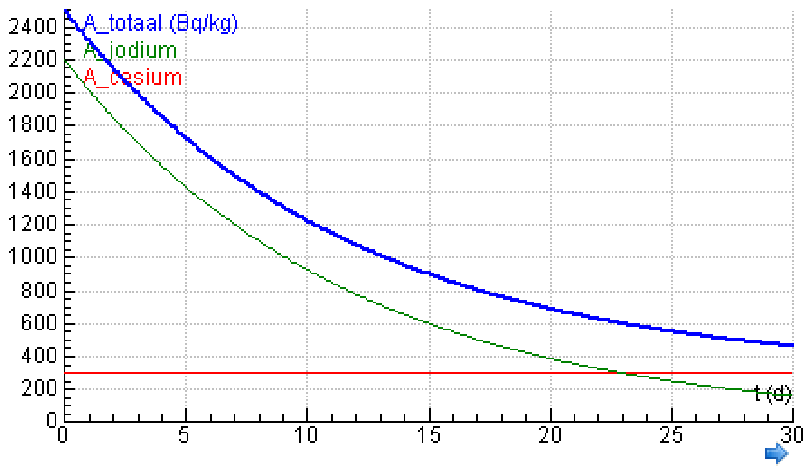
–

46 ***a***

De halveringstijd van ^{137}Cs is 30 jaar. Na één maand zal de activiteit dus niet merkbaar veranderd zijn.

–

b



–

c

Aflezen in grafiek bij A_totaal = 1300 Bq/kg ⇒ 9 dagen.

9 d

d

De activiteit wordt op den duur alleen nog bepaald door de aanwezigheid van ^{137}Cs, met een halveringstijd van 30 jaar. Bewaren heeft dan geen zin.

Als je wilt bereken hoe lang het duurt tot de activiteit gedaald is tot 250 Bq, gaat dat zo:

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

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

–

47 ***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.

–

48 ***a***

$t_{½}$ = 14,8 h dus 29,6 h = 2·$t_{½}$

Je zou dan dus 2^2·24 deeltjes in 10 min gemeten hebben, dus 0,16 Bq

0,16 Bq

b

$V = \dfrac{950}{0{,}16}\cdot 1\cdot 10^{-3} = 5{,}9.. = 6 \text{ L}$

6 L

49 *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

$$\left.\begin{array}{l} E = N \cdot E_\beta = A \cdot t \cdot E_\beta \\ A = 4{,}4 \cdot 10^3 \text{ Bq} \\ t = 1 \text{ j } = 3{,}15 \cdot 10^7 \text{ s} \end{array}\right\} \Rightarrow E = 4{,}4 \cdot 10^3 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 \cdot 1{,}33 = 1{,}84.. \cdot 10^{11} \text{ MeV}$$

$$\left(\times 1{,}602 \cdot 10^{-13}\right) = 0{,}0295.. = 0{,}030 \text{ J}$$

30 mJ

d

$$H = W_\mathrm{R} \cdot \frac{E}{m} = 1 \cdot \frac{0{,}0295..}{60} = 4{,}92.. \cdot 10^{-4} = 4{,}9 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

0,5 mSv

50 *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

$$H = W_\mathrm{R} \cdot \frac{E}{m} \Rightarrow E = \frac{H \cdot m}{W_\mathrm{R}} \Rightarrow \left| \begin{array}{l} E_1 = \dfrac{H_1 \cdot m}{W_{\mathrm{R},1}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{1} = 1{,}2 \text{ J} \\ E_2 = \dfrac{H_2 \cdot m}{W_{\mathrm{R},2}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{2} = 0{,}60 \text{ J} \end{array} \right\}$$

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

1,8 J

51 *a*

Eerst verpakken, daarna bestralen.
De γ−straling dringt door de verpakking heen. De inhoud wordt en blijft steriel.

–

b

$$E = N \cdot E_\gamma = A \cdot t \cdot E_\gamma$$

$$\Rightarrow E = 8{,}0 \cdot 10^{16} \cdot 10 \cdot 1{,}25 = 1 \cdot 10^{18} \text{ MeV} = \left(\times 1{,}602 \cdot 10^{-13}\right) 1{,}602 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$D = \frac{E}{m}$$

$$\Rightarrow D = \frac{1{,}60.. \cdot 10^5}{5{,}0} = 3{,}20.. \cdot 10^4 = 3{,}2 \cdot 10^4 \text{ Gy}$$

32 kGy

c

Gebruik Binas tabel 28^E voor een schatting van de halveringsdikte

$$\left.\begin{array}{l} E_\gamma = 1{,}0 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\,\mathrm{Pb}} = 0{,}86 \text{ cm} \\ E_\gamma = 2{,}0 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\,\mathrm{Pb}} = 1{,}34 \text{ cm} \end{array}\right\}$$

$$\Rightarrow E_\gamma = 1{,}25 \text{ MeV} \rightarrow d_{1/2,\,\mathrm{Pb}} = 0{,}86 + \tfrac{1}{4} \cdot (1{,}34 - 0{,}86) \approx 1 \text{ cm}$$

Dan $\left(\tfrac{1}{2}\right)^{d/d_{1/2}} \approx \left(\tfrac{1}{2}\right)^{4/1} = \tfrac{1}{16}$

De intensiteit zal door de afscherming met een factor 16 afnemen.

16

52 *a*

${}^{238}_{94}\mathrm{Pu} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{234}_{92}\mathrm{U}$

–

b

${}^{238}_{94}\mathrm{Pu} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{234}_{92}\mathrm{U}$

^{238}Pu	238,04951 u	^{4}He	4,0026 u
		^{234}U	234,04095 u
	+		+
links	238,04951 u	rechts	238,04355 u

$\Delta m = 238{,}04951 - 238{,}04355 = 0{,}005957$ u

$(\times 931{,}49) \Rightarrow \Delta E = 5{,}548.. = 5{,}55$ MeV

–

	c	Energieproductie per verval: $5,548..\cdot 1,602..\cdot 10^{-13} = 8,88..\cdot 10^{-13}$ J Energieproductie per seconde: $4,2\cdot 10^{3}$ J $\Rightarrow A = \dfrac{4,2\cdot 10^{3}}{8,88..\cdot 10^{-13}} = 4,72..\cdot 10^{15} = 4,7\cdot 10^{15}$ Bq	$4,7\cdot 10^{15}$ Bq
53	***a***	De pijlen naar rechtsonder horen bij β^-.	–
	b	Er is nog zeer veel ^{238}U op aarde aanwezig, dus het vervalproduct ^{222}Rn wordt voortdurend aangevuld.	–
	c	De β's van ^{234}Pa hebben ongeveer 10x zoveel energie als de β's van ^{234}Th.	–
	d	De isotopen van Th bevinden zich op een verticale lijn door *Z* = 92.	–
54	***a¹***	E_α = 5,2 MeV	–
	a²	$\left.\begin{aligned} &E = N\cdot E_\alpha = A\cdot t\cdot E_\alpha \\ &A = 10^{-4}\ \text{Bq} \\ &t = 1\ \text{jaar} = 3,15\cdot 10^{7}\,\text{s}\end{aligned}\right\} \Rightarrow E = 3,15\cdot 10^{7}\cdot 10^{-4}\cdot 5,2 = 1,63..\cdot 10^{4} = 1,6\cdot 10^{4}\ \text{MeV}$ $(\times 1,602..\cdot 10^{-13}) \Rightarrow\ E = 2,62..\cdot 10^{-9} = 2,6\cdot 10^{-9}$ J	$2,6\cdot 10^{-9}$ J
	b¹	$V_{bol} = \frac{4}{3}\pi\cdot r^{3} = \frac{4}{3}\pi\cdot (40\cdot 10^{-6})^{3} = 2,68..\cdot 10^{-13} = 2,7\cdot 10^{-13}\ \text{m}^{3}$	$2,7\cdot 10^{-13}$ m
	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	$D = \dfrac{E}{m} = \dfrac{2,62..\cdot 10^{-9}}{2,68..\cdot 10^{-10}} = 9,78.. = 9,8$ Gy	9,8 Gy
	c	Neen. $H = W_R\cdot \dfrac{E}{m} = (0,12\cdot 20)\cdot \dfrac{2,62..\cdot 10^{-9}}{1} = 6,29..\cdot 10^{-9}$ Sv < 500 mSv	–
55	***a***	$t_{½}$ van ^{14}C is 5730 j $\dfrac{3,3\cdot 10^{9}}{5730} = 5,8\cdot 10^{5}$ Na zoveel halveringstijden is de activiteit écht helemaal nul.	–
	b	Lood dat *niet* is ontstaan door radioactief verval bevat de stabiele isotoop ^{204}Pb. Als er geen ^{204}Pb aanwezig in de steen is, weet je zeker dat het ^{206}Pb afkomstig moet zijn van het verval van ^{238}U.	–
	c	Dan ben je dus één halveringstijd van ^{238}U verder, ofwel: die steen is 4,47 miljard jaar oud (dus even oud als de aarde).	–
	d	^{235}U vervalt sneller dan ^{238}U. Miljarden jaren geleden was het percentage van ^{235}U dus groter.	–

Toets

1		**Blaren**	
	a	Een alfa deeltje is een heliumkern. Als zo'n kern twee elektronen vangt ontstaat een helium atoom. Dit gebeurt met veel alfadeeltjes die het metaal binnendringen en zo ontstaat de met heliumgas gevulde blaar.	–
	b	De dracht van alfa's in een metaal is erg klein.	–
2		**Bescherming**	
	a	Overeenkomst: gamma en röntgenstraling zijn beide elektromagnetische straling. Je spreekt dan ook van gammafotonen en röntgenfotonen. Verschil: Een gammafoton ontstaat in de kern, het röntgenfoton niet (dat komt uit de elektronenschil rondom de kern).	–
	b	${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{137}_{56}\text{Ba}$	–
	c	Als je in *Binas* tabel 25 de isotopen opzoekt dan blijkt dat: - ^{90}Sr zendt 'zachte' bèta's uit - de bèta's van ^{137}Cs zijn veel energierijker - ^{209}Po is een alfa straler. Dus als je wilt testen of een badge gevoelig is voor bèta's, kun je het beste ^{90}Sr nemen.	–
	d	Uit *Binas* tabel 28E blijkt dat het schort een dikte heeft van precies vijf halveringsdiktes. Dus het schort laat $(½)^5$ = 0,0312.. = 3,12..% door. Het schort absorbeert 96,9%.	96,9%
	e	$E = Pt = 0{,}15 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 3{,}75 \cdot 10^{-6}$ J. Daarvan wordt 69% geabsorbeerd: $0{,}69 \cdot 3{,}75 \cdot 10^{-6}$ J = $2{,}58.. \cdot 10^{-6}$ J. $D = \frac{E}{m} = \frac{7{,}56.. \cdot 10^{-6}}{10} = 2{,}6 \cdot 10^{-7}$ Gy	$2{,}6 \cdot 10^{-7}$ Gy
3		**Spontane splijting**	
	a	Met een *langzaam* neutron.	–
	b	${}^{244}_{96}\text{Cm} \rightarrow {}^{147}_{58}\text{Ce} + {}^{93}_{38}\text{Sr} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$	–
	c	$E = Pt = 24 \cdot 10^{3} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 7{,}56.. \cdot 10^{11}$ J. $m = \frac{E}{c^2} = \frac{7{,}56.. \cdot 10^{11}}{(2{,}998 \cdot 10^{8})^2} = 8{,}4 \cdot 10^{-6}$ kg	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$ kg
	d	$H = (W_R \cdot D)_{gamma} + (W_R \cdot D)_{röntegen} = 1 \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 0{,}19 \cdot 10^{-3} = 9{,}1$ mSv. Dat is minder dan de limiet van 20 mSv die in tabel 27G van *Binas* wordt genoemd.	–