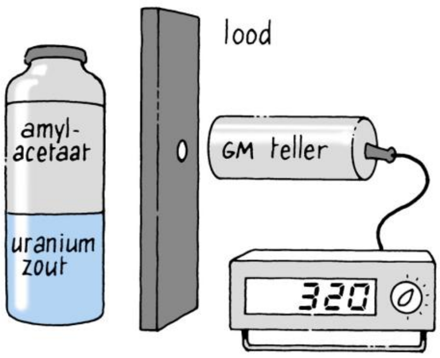
1 Protactinium

^{238}U vervalt in veel stappen tot ^{206}Pb.

a Schrijf de eerste vier stappen op.

b Waarom kunnen de β's die ^{234}Pa uitstoot, beter door een laagje plastic dringen dan de β's van ^{234}Th?

►Een oplossing van uraniumzout zit onderin een afgesloten flesje; daarboven bevindt zich amylacetaat. Als we het flesje schudden, lost het vervalproduct ^{234}Pa op in het amylacetaat; uranium en de andere vervalprodukten niet. We onderzoeken met een GM-teller de straling van het bovenste deel, dus van ^{234}Pa.



Voordat we schudden, tellen we 320 pulsen in 5 min. Direct na het schudden meten we iedere 15 s de intensiteit *I*; elke meting duurt 6 s. We vinden achtereenvolgens:

65	94	54	32
93	72	42	26
117	66	38	32
111	66	32	23

c^1 Corrigeer de metingen voor de achtergrond-straling en maak een *I*(*t*)-grafiek (liefst op logaritmisch papier).

c^2 Bepaal de halveringstijd.

◦***d*** Schets de *I*(*t*)-grafiek die je bij metingen aan de *onderkant* van het flesje na het schudden zou vinden.

2 Plutonium

Stel dat iemand een stofdeeltje ^{239}Pu inademt met een activiteit van 10^{-4} Bq en dat dit in de longen zou blijven zitten. De dracht in long-weefsel is ongeveer 40 μm; stel de dichtheid op 10^3 kg/m^3.

a^1 Zoek de energie van de α's op in *Binas*.

a^2 Hoeveel energie straalt dit plutoniumstofje per jaar uit?

b^1 Bereken het volume dat bestraald wordt.

b^2 Bereken de massa die bestraald wordt.

b^3 Bereken de dosis in gray.

►Om de effectieve dosis te berekenen, moet gemiddeld worden over het hele orgaan; de massa van de longen is ongeveer 1 kg. De weegfactor van α's is 20; de weegfactor voor de longen is 0,12. De longlimiet is 500 mSv per jaar.

c Wordt die waarde hier overschreden?

3 Kalium

a Op welke manier verschillen isotopen van elkaar en op welke manier komen ze overeen?

b^1 Geef de vervalvergelijking van ^{40}K.

b^2 Wat is daarbij de halveringstijd?

►In een rotsblok blijkt 80% van het ^{40}K vervallen te zijn. Dat is te berekenen omdat ^{40}K ook naar het gas argon vervalt en dat blijft achter in de rots.

c Hoe oud is het rotsblok?

►De straal van ^{40}K is $4{,}1 \cdot 10^{-15}$ m.

d Bereken de dichtheid van de kern.

e Wat volgt uit het feit dat de dichtheid voor alle kernen ongeveer hetzelfde is?

►Argon ontstaat bij K-vangst. Daarbij wordt een elektron uit de elektronenwolk opgenomen in de kern.

•***f*** Geef de vergelijking voor deze K-vangst.

De antwoorden staan op de volgende pagina's.

De antwoorden van de toets

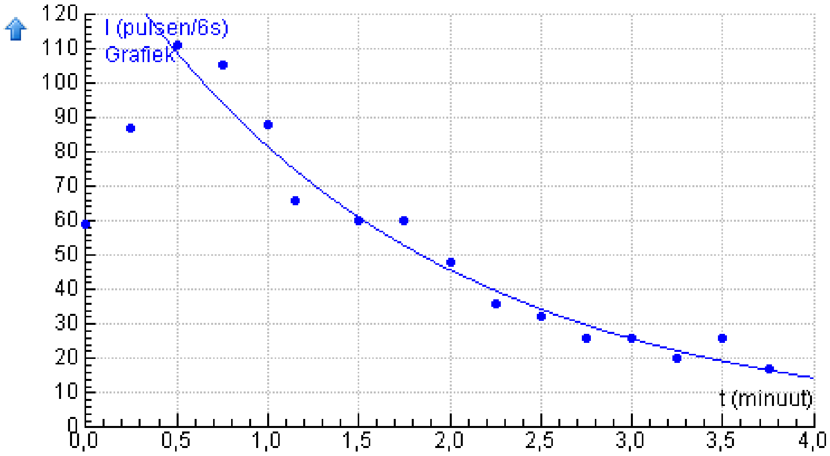
1 Protactinium

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

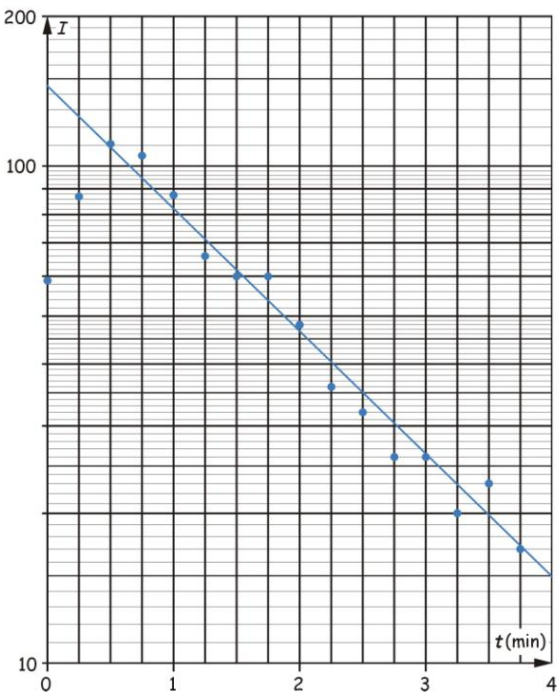
b De β's uit ^{234}Pa hebben een grotere energie (2,2 MeV) dan de β's uit ^{234}Th (0,192 MeV)

c[1] 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.

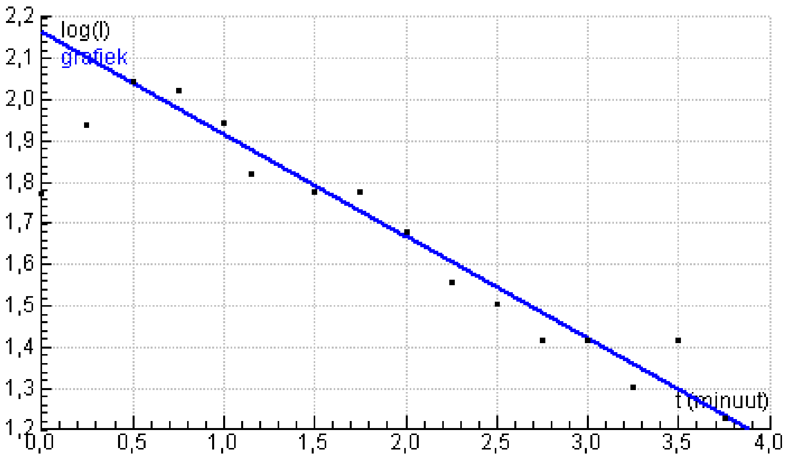
1,77	1,94	1,68	1,41
1,94	1,82	1,56	1,30
2,05	1,78	1,51	1,41
2,02	1,78	1,41	1,23

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:

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



c 2 *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.)

Volgens de derde grafiek: log(I_0) = 2,16.
Na 2 halveringstijden is

$\log(I) = \log(0,25 \cdot I_0) = \log(I_0) + \log(0,25) = 2,16 - 0,602.. = 1,56 \;\Rightarrow\; 2 \cdot t_{1/2} = 2,45$ min

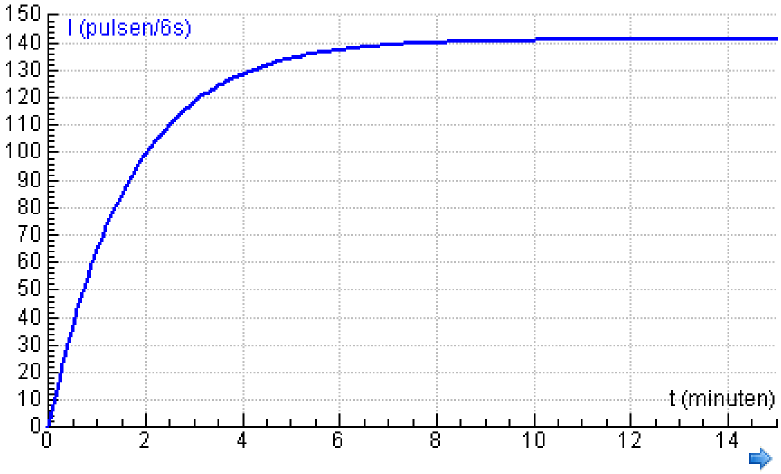
Na 3 halveringstijden is

$\log(I) = \log(0,125 \cdot I_0) = \log(I_0) + \log(0,125) = 2,16 - 0,903.. = 1,26 \;\Rightarrow\; 3 \cdot t_{1/2} = 3,65$ 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

a[1] E_α = 5,2 MeV

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

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

b[1]
$$V_{\text{bol}} = \tfrac{4}{3}\pi\cdot r^3 = \tfrac{4}{3}\pi\cdot(40\cdot 10^{-6})^3 = 2{,}68..\cdot 10^{-13} = 2{,}7\cdot 10^{-13}\ \text{m}^3$$

b[2]
$$m = \rho\cdot V = 10^3\cdot 2{,}7\cdot 10^{-13} = 2{,}7\cdot 10^{-10}\ \text{kg}$$

b[3]
$$D = \frac{E}{m} = \frac{2{,}62..\cdot 10^{-9}}{2{,}68..\cdot 10^{-10}} = 9{,}78.. = 9{,}8\ \text{Gy}$$

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 Kalium

a Isotopen hebben dezelfde aantallen protonen in de kern (Z) en elektronen in de wolk waardoor ze dezelfde chemische eigenschappen hebben. De aantallen neutronen verschillen zodat de atoommassa's (A) verschillen.

b[1]
$$^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^{0}_{-1}\beta + \gamma$$

b[2] $t_{½}$ = 1,28·10^{9} y

c 20 = 100·(0,5)^{x} met $x = t/t_{1/2}$ $\Rightarrow$

$$x = \frac{\log(0{,}2)}{\log(0{,}5)} = 2{,}32..$$

Het rotsblok is dus 2,97·10^{9} = 3,0·10^{9} jaar oud.

d
$$V_{\text{kern}} = \tfrac{4}{3}\pi r^3 = 2{,}99\cdot 10^{-43} = 3{,}0\cdot 10^{-43}\ \text{m}^3$$

In tabel 25A staat voor de atoommassa van ^{40}K 39,96400 u; dat is inclusief de elektronen in de wolk. We verwaarlozen die.

m_{kern} = 39,9600·1,6605·10^{-27} = 6,64·10^{-26} kg

$$\rho = \frac{6{,}64\cdot 10^{-26}}{3{,}0\cdot 10^{-43}} = 2{,}2\cdot 10^{17}\ \text{kg/m}^3$$

e Kernen zijn min of meer bolvormig en de pakking van nucleonen is vrijwel constant.

f
$$^{40}_{19}\text{K} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + \gamma$$