

# Uitwerkingen § 1

## Opgave 1

protonen en neutronen

## Opgave 2

negatief

positief

neutraal

positief

neutraal

## Opgave 3

Een atoom bevat twee soorten geladen deeltjes namelijk protonen en elektronen.

Elk elektron is evenveel negatief als het proton positief is.

Er zijn evenveel elektronen als protonen.

## Opgave 4

Het atoomnummer is het aantal protonen in de kern.

Het massagetal is het aantal protonen plus het aantal neutronen in de kern.

## Opgave 5

De kern levert verreweg de grootste bijdrage aan de massa van het atoom.

Dat komt doordat een proton of een neutron 1800 keer zwaarder is dan een elektron.

## Opgave 6

Elektronen worden aangetrokken tot de kern want elektronen zijn negatief geladen en de kern is positief geladen.

Overigens kunnen elektronen het atoom wel verlaten maar dit kost energie die van buitenaf moet worden geleverd. Deze energie heet de ionisatie-energie. Dit wordt verderop in de theorie behandeld.

## Opgave 7

We spreken van isotopen bij atoomsoorten met hetzelfde atoomnummer maar verschillend massagetal. Deze atoomsoorten verschillen dan alleen in het aantal neutronen in de kern.

## Opgave 8

a.

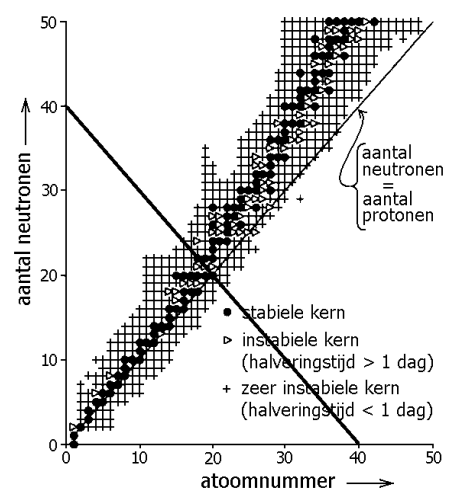
De isotopen (weergegeven door stippen, driehoekjes en plusjes) liggen boven de rechte lijn.

b.

Drie isotopen. Ze hebben 8, 9 en 10 neutronen in de kern. Hun massagetalen zijn dus 16, 17 en 18.

c.

Zie de lijn in de figuur hiernaast.



Opgave 9

$$26 - 12 = 14$$

Opgave 10

Er zijn 19 elektronen dus ook 19 protonen in de kern.

$$\text{Dus } 19 + 20 = 39.$$

Opgave 11

35

35 (want A en B zijn isotopen)

$$81 - 35 = 46$$

Opgave 12

In A zitten  $30 - 16 = 14$  protonen in de kern.

Omdat A en B isotopen van dezelfde stof zijn heeft B ook 14 protonen in de kern.

$$\text{Dus } 14 + 14 = 28.$$

# Uitwerkingen § 2

## Opgave 1

- 1) onjuist
- 2) juist
- 3) juist
- 4) onjuist
- 5) juist
- 6) onjuist

## Opgave 2

Een element is een verzamelnaam voor alle isotopen behorend bij hetzelfde atoomnummer.

## Opgave 3

Chemische reacties spelen zich aan de buitenkanten van atomen af. Er is een wisselwerking tussen de elektronen van de verschillende atomen.

## Opgave 4

94

## Opgave 5

$^{32}_{15}\text{P}$

## Opgave 6

technetium-99

## Opgave 7

waterstof (atoomnummer 1)

## Opgave 8

Ze zijn even groot. De kern van lithium-7 zal iets groter zijn. Maar dat maakt voor de elektronen niet uit. Die cirkelen namelijk op grote afstand van de kern.

## Opgave 9

De dochterkern heeft  $87-2=85$  protonen. Dit is astaat (At).

De dochterkern heeft  $221-4=217$  protonen plus neutronen.

Dus astaat-217 en  $^{217}_{85}\text{At}$ .

## Opgave 10

Een radium-224-kern heeft 88 protonen en 224 protonen plus neutronen.

De moederkern heeft dus 90 protonen en 228 protonen plus neutronen.

Dus thorium-228 en  $^{228}_{90}\text{Th}$ .

## Opgave 11

De kans blijft gelijk want chemische reacties hebben geen invloed op de kernen van atomen.

### Opgave 12

Alle isotopen van jood worden in principe even snel opgenomen. Want deze isotopen hebben allemaal dezelfde chemische eigenschappen. En het zijn deze chemische eigenschappen die de opname door de schildklier bepalen.

De werkelijke reden is dat de straling afkomstig van jood-131 gunstigere eigenschappen heeft dan de straling van de andere isotopen.

# Uitwerkingen § 3

## Opgave 1

Een alfadeeltje is een heliumkern ( ${}^4_2\text{He}$ ).

Een bètadeeltje is een elektron.

Een gammafoton is een energiepakketje (zonder massa) dat met de lichtsnelheid gaat.

## Opgave 2

Een alfadeeltje gaat het langzaamst en een gammafoton het snelst.

## Opgave 3

groot

bètadeeltje

## Opgave 4

a.

Bij alfaverval komt een alfadeeltje vrij. Dit is een heliumkern.

b.

Er moeten nog twee elektronen “gevonden” worden die rond de heliumkern gaan cirkelen. In stoffen zijn er altijd wel elektronen beschikbaar.

## Opgave 5

$$m = 240 - 4 = 236$$

$$a = 94 - 2 = 92$$

U (van uraan)

## Opgave 6

$$m = 72 - 0 = 72$$

$$a = 31 - - 1 = 32$$

Ge (van germanium)

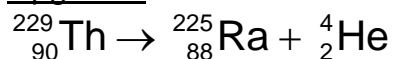
## Opgave 7

$$m = 87 - 0 = 87$$

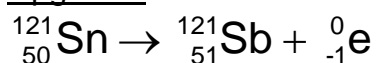
$$a = 38 - 0 = 38$$

Sr (van strontium)

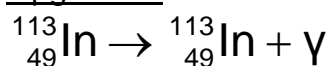
## Opgave 8



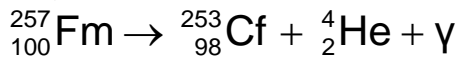
## Opgave 9



## Opgave 10



### Opgave 11



### Opgave 12



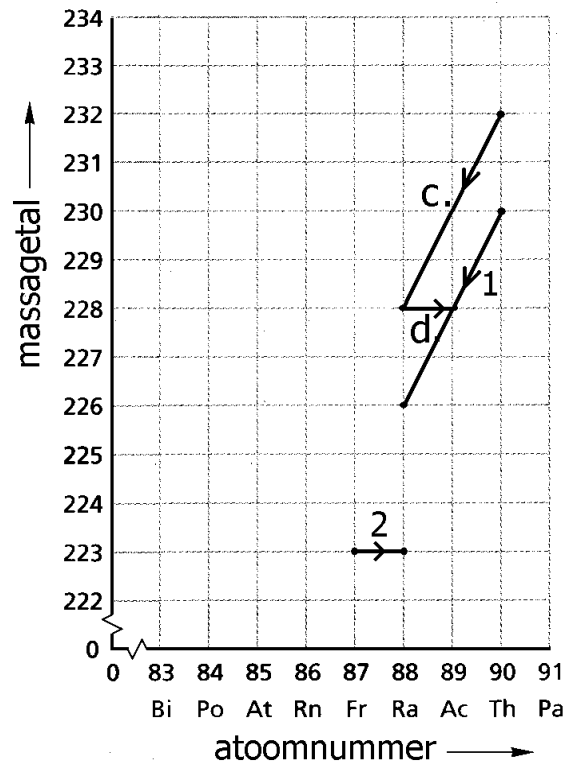
### Opgave 13

a. alfaverval

b. bètaverval

c. + d. Zie de figuur hiernaast.

Zoals we zien is de dochterkern bij vraag c. zelf ook radioactief en vervalt onder uitzending van een bètadeeltje. De dochterkern van dit bètaverval (actinium-228) is ook weer radioactief enzovoort. Uiteindelijk eindigt de vervalreeks bij lood-208 wat stabiel is.



# Uitwerkingen § 4

## Opgave 1

De halveringstijd is de tijdsduur waarbinnen een atoomkern met een kans van 50% vervalt.

De halveringstijd is de tijdsduur waarbinnen de helft van een grote groep atoomkernen is vervallen.

## Opgave 2

Als je de tijd afleest bij de helft van de beginhoeveelheid (8 mg) vind je 15 s.

Het kan echter nauwkeuriger. Als je namelijk de tijd afleest bij een achtste van de beginhoeveelheid (2 mg) vind je 46 s. Dit komt overeen met drie halveringstijden. Eén halveringstijd is dus  $46 / 3 = 15,3$  s.

## Opgave 3

Begin: 2,4 microgram.

Na 1 x 12,4 uur is er nog 1,2 microgram

Na 2 x 12,4 uur is er nog 0,6 microgram

Na 3 x 12,4 uur is er nog 0,3 microgram

Na 4 x 12,4 uur is er nog 0,15 microgram over.

Het duurt dus  $4 \times 12,4$  uur = 49,6 uur.

## Opgave 4

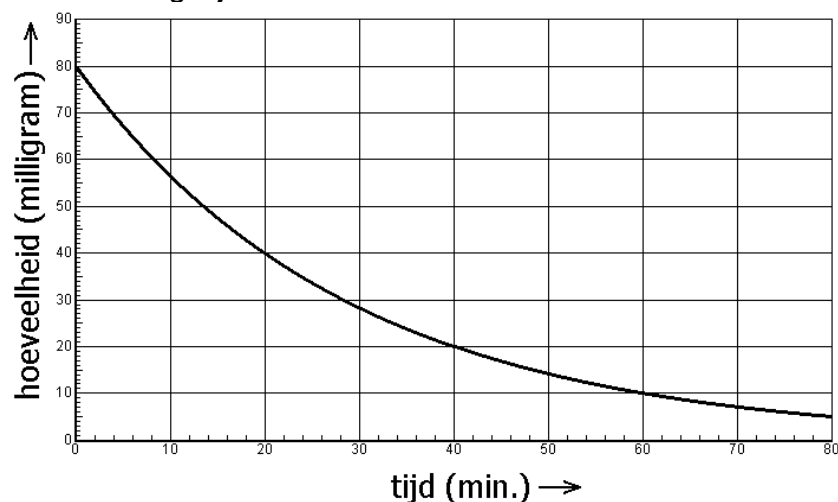
5 dagen =  $5 \times 24$  uur = 120 uur.

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{120}{22,7}} = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{5,29} = N_0 \cdot 0,0256$$

Dus 2,56%

## Opgave 5

De halveringstijd is 20 min.



## Opgave 6

a.

De halveringstijden in de neptunium-reeks zijn veel kleiner dan de leeftijd van de aarde. Alle (of in ieder geval bijna alle) kernen in de neptunium-reeks zijn dus vervallen.

b.

In de uranium-238-reeks wordt er steeds nieuw radium-226 gevormd. Dit komt omdat uranium-238 een zeer grote halveringstijd heeft.

c.

De uranium-238-reeks eindigt bij lood-206.

De uranium-235-reeks eindigt bij lood-207.

De thorium-reeks eindigt bij lood-208.

Deze drie isotopen van lood zijn stabiel.

Overigens komt in de natuur ook lood-204 voor. De percentages van lood-204, lood-206, lood-207 en lood-208 in de natuur zijn 1,5%, 23,6%, 22,6% en 52,3%.



# Uitwerkingen § 5

## Opgave 1

De activiteit is het gemiddeld aantal atoomkernen dat per seconde vervalst.

## Opgave 2

Becquerel (symbool Bq)

## Opgave 3

In een seconde vervallen er  $4,5 \cdot 10^3$  atoomkernen.

In een minuut vervallen er dus  $60 \times 4,5 \cdot 10^3 = 270 \cdot 10^3$  atoomkernen.

## Opgave 4

$$A = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Bq}$$

## Opgave 5

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = 2,8 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{64}{22}} = 0,373 \cdot 10^3 \text{ Bq} = 373 \text{ Bq}$$

## Opgave 6

Bij het dubbele aantal ijzer-59-kernen bedraagt de activiteit  $2 \times 178 \text{ Bq} = 356 \text{ Bq}$ .

Bij de dubbele halveringstijd bedraagt de activiteit  $\frac{1}{2} \times 178 \text{ Bq} = 89 \text{ Bq}$ .

## Opgave 7

Radioactief afval met een zeer korte halveringstijd verdwijnt in korte tijd vanzelf.

Radioactief afval met een extreem grote halveringstijd is nauwelijks actief. Het zendt dus weinig straling uit.

## Opgave 8

$$A = \frac{\ln(2) \cdot N}{t_{1/2}} = \frac{0,693 \cdot 8,5 \cdot 10^{16}}{40 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 0,41 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

## Opgave 9

$$N = \frac{t_{1/2} \cdot A}{\ln(2)} = \frac{3,83 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3,0}{0,693} = 1432519 = 1,43 \cdot 10^6$$

## Opgave 10

Uit het diagram blijkt dat  $N_0 = 6 \cdot 10^9$  en  $t_{1/2} = 3$  etmalen.

Dus geldt voor de activiteit op  $t = 0$ :

$$A_0 = \frac{\ln(2) \cdot N_0}{t_{1/2}} = \frac{0,693 \cdot 6 \cdot 10^9}{3 \cdot 24 \cdot 3600} = 16 \text{ kBq}$$

### Opgave 11

Het verval van radioactieve kernen is een kansproces. Zo kunnen in een bepaalde tijdsduur (bijvoorbeeld 1 seconde) wat meer maar ook wat minder kernen vervallen.

# Uitwerkingen § 6

## Opgave 1

De dracht is de maximale afstand die de deeltjes in een stof afleggen.

## Opgave 2

De halveringsdikte is de afstand waarbinnen een gammafoton met een kans van 50% geabsorbeerd wordt.

De halveringsdikte is de afstand waarover de intensiteit van de straling gehalveerd wordt.

## Opgave 3

Gammastraling heeft een veel groter doordringend vermogen. De dikke plakken lood zijn voor alfa- en bètastraling niet echt nodig. Terwijl de gammastraling nooit voor 100% afgeschermd kan worden.

## Opgave 4

Piet want bètastraling heeft een groter doordringend vermogen. De alfastraling dringt niet eens door Jans huid heen.

## Opgave 5

De plaat bestaat uit drie halveringsdiktes. Dus drie halveringen van de intensiteit. Dus de helft van de helft van de helft van de intensiteit. Dat is 12,5%.

## Opgave 6

Een kwart van de straling gaat door. Dat is de helft van de helft. Dus bestaat de plaat uit twee halveringsdiktes. Dus is de plaat 2,8 cm dik.

## Opgave 7

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{\lambda_{1/2}}}$$

## Opgave 8

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{\lambda_{1/2}}} = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{40}{12}} = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{3,33} = I_0 \cdot 0,099$$

Dus 9,9% van de gammastraling gaat door de muren van de bunker.

## Opgave 9

a.

De dracht van bètastraling is niet zo groot. Bètadeeltjes zullen het fruit misschien wel aan de bovenkant wel ingaan maar ze gaan zeker niet door al het fruit heen.

b.

Lees af bij 50%. Dan vind je 12 cm.

Lees af bij 25%. Dan vind je 24,5 cm. Dat zijn twee halveringsdiktes. Eén halveringsdikte is dan dus 12,25 cm (afgerond 12,3 cm).

### Opgave 10

De afstand tot de bron wordt  $15 \text{ m} / 3 \text{ m} = 5$  keer zo groot.

De stralingsintensiteit daalt dan met een factor  $5^2 = 25$ .

De stralingsintensiteit daalt tot  $(100 / 25) \% = 4 \%$ .

# Uitwerkingen § 7

## Opgave 1

Het proces waarbij een atoom of molecuul één of meerdere elektronen kwijt raakt of erbij krijgt. In deze cursus gaat het trouwens steeds over het kwijt raken.

## Opgave 2

Bij alfastraling het dichtst bij elkaar en bij gammastraling het verst uit elkaar.

## Opgave 3

Deze stralingssoorten ioniseren de atomen en de moleculen in het menselijk weefsel. De ontstane ionen veroorzaken ongewenste chemische reacties in de lichaamscellen.

## Opgave 4

Alfastraling is het gevaarlijkst. Die richt alle schade namelijk aan in de spijsverteringsorganen terwijl gammastraling de schade juist uitsmeert over een groot gebied. Een deel van de gammastraling verlaat je lichaam en kan dan dus ook geen schade aanrichten. Dat is gunstig voor jou maar jammer voor je omgeving.

In de volgende paragraaf zien we het volgende.

- Geabsorbeerde alfastraling is ongeveer 20 keer schadelijker dan geabsorb. gammastraling.
- Spijsverteringsorganen zijn erg gevoelig voor ioniserende straling.

## Opgave 5

Nee! Want de gammastraling ioniseert de atomen. Maar de kernen van de atomen worden hierbij met rust gelaten. Er ontstaan bij het bestralen dus geen instabiele atoomkernen in het voedsel. Anders gezegd: het voedsel wordt niet radioactief.

## Opgave 6

Röntgenstraling werkt ook ioniserend. Het is dus schadelijk voor je gezondheid.

## Opgave 7

In zonlicht zit ultraviolet licht. Het UV-C werkt ook ioniserend.

## Opgave 8

$$\frac{4200000 \text{ eV}}{34 \text{ eV}} = 123529 = 1,2 \cdot 10^5$$

## Opgave 9

a.

Zware deeltjes bewegen veel langzamer door de stof. Ze hebben dan meer tijd om de atomen en moleculen te ioniseren.

b.

Ze hebben dan een lage snelheid.

### Opgave 10

De alfa- of bètastraling ioniseert de luchtmoleculen in de buurt van de elektroscop. De hierbij ontstane (positieve) ionen worden naar de negatieve staaf van de elektroscop getrokken. Eenmaal bij de staaf aangekomen, nemen de ionen elektronen op. Het overschot aan elektronen op de staaf verdwijnt dan geleidelijk.

### Opgave 11

Eerste reden: de activiteit van isotoop A is veel groter dan die van isotoop B. Verreweg de meeste kernen van isotoop B zijn nog niet vervallen tijdens een mensenleven.

Tweede reden: volgens de wet van Geiger-Nuttall hebben de door isotoop A uitgezonden alfadeeltjes meer energie en kunnen dan ook meer atomen in het menselijk lichaam ioniseren.

De eerste reden is belangrijker (de energie van de uitgezonden alfadeeltjes van de isotopen A en B verschillen minder dan een factor twee).

# Uitwerkingen § 8

## Opgave 1

a.

Bij radioactieve bestraling wordt je blootgesteld aan ioniserende straling.

Bij radioactieve besmetting zit er een radioactieve stof op of in je lichaam. Het gevolg is uiteraard dat je bestraald wordt.

b.

Nee

## Opgave 2

Als de piek van de grafiek (de zogenoemde Bragg piek) zich in het kankergezwel bevindt, krijgt dit gezwel een grote stralingsdosis. Het gezonde weefsel, waar de protonen doorheen gaan om het gezwel te bereiken, ontvangen (gelukkig) slechts een kleine dosis. De energie van de protonen moet worden afgestemd op de diepte van het gezwel.

## Opgave 3

Als je naar de halveringstijden kijkt zijn er twee mogelijkheden namelijk polonium-210 en wolfram-185. Aan de ene kant zijn hun halveringstijden groot genoeg om de isotoop van de reactor naar de tegenstander te vervoeren en hem ermee te vergiftigen. Aan de andere kant zijn hun halveringstijden klein genoeg om voldoende activiteit (= aantal kernen dat vervalft per seconde) te hebben.

Als je kijkt naar de soort straling die wordt uitgezonden is polonium-210 veruit favoriet. Want alfastraling heeft een weegfactor van 20 en bètastraling van 1. Alfastraling beperkt zijn werking tot de spijsverteringsorganen vanwege zijn kleine dracht. En die zijn juist gevoelig voor ionisaties. De maag heeft immers een weegfactor van 0,12.

Ter info.

De voormalig Russische KGB-agent Alexander Litvinenko werd in 2006 in Londen vermoord door iemand die een hoeveelheid polonium-210 in zijn thee had gegooid. Na het drinken van de thee hebben de alfadeeltjes zijn lichaam van binnen uit verwoest. De fabricageplaats van het polonium-210 was waarschijnlijk ergens in Rusland.

## Opgave 4

$$Dosis = \frac{\text{energie}}{\text{massa}} = \frac{4,0 \text{ mJ}}{0,80 \text{ kg}} = 5,0 \text{ mGy}$$

$$\text{Equivalente dosis} = 1 \times 5,0 = 5,0 \text{ mSv}$$

## Opgave 5

$$\text{Effectieve dosis} = 0,12 \times 3,0 \text{ Sv} + 0,05 \times 2,0 \text{ Sv} = 0,46 \text{ Sv}$$

## Opgave 6

Eén enkele vliegreis levert een equivalente dosis op van  $8 \times 4 = 32 \mu\text{Sv}$ .

De vrouw kan dan 31 enkele reizen maken. Want:

$$\frac{1 \text{ mSv}}{32 \mu\text{Sv}} = \frac{1000 \mu\text{Sv}}{32 \mu\text{Sv}} = 31$$

### Opgave 7

a.

De dracht van alfastraling en bètastraling in lucht is kleiner dan 5 m.

b.

In de loden plaat zitten 4 halveringsdiktes (want  $10 \text{ mm} / 2,5 \text{ mm} = 4$ ).

Dus daalt de intensiteit van de gammastraling met een factor  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ .

Dus wordt de nieuwe dosis  $0,4 / 16 = 0,025 \text{ mGy}$  per uur.

c.

De weegfactor voor gammastraling is 1.

De weegfactoren voor weefsels zijn samen ook gelijk aan 1.

Dus is de effectieve dosis per uur  $0,025 \text{ mSv}$ .