

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Opgave 1

In de nuclidetherapie worden tumoren van binnen in het lichaam bestraald met behulp van instabiele atoomkernen. Deze atoomkernen kunnen alfa- of bètastralers zijn. Door de instabiele atoomkernen te koppelen aan een zogenaamde dragerstof, een stof die zich specifiek aan de tumor kan hechten, kan een heel gerichte bestraling worden bereikt. Zie nevenstaande afbeelding. Bij het afremmen van de alfa- of bètadeeltjes tijdens hun weg door het tumorweefsel, komt energie vrij. Wanneer deze energie plaatselijk groot genoeg is, zal dat leiden tot het afsterven van tumorcellen.

De hoeveelheid energie die een ioniserend deeltje per eenheid van weglengte afgeeft aan de omringende materie wordt de LET-waarde genoemd. LET staat voor 'lineaire energie-overdracht' en is gedefinieerd volgens:

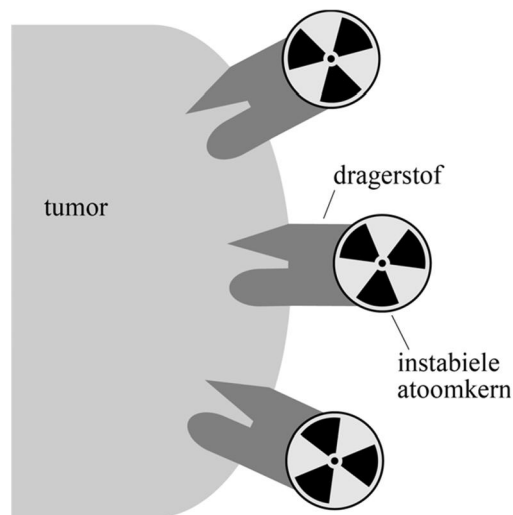
$$\text{LET - waarde} = -\frac{dE}{dx} \quad (1)$$

Hierin is:

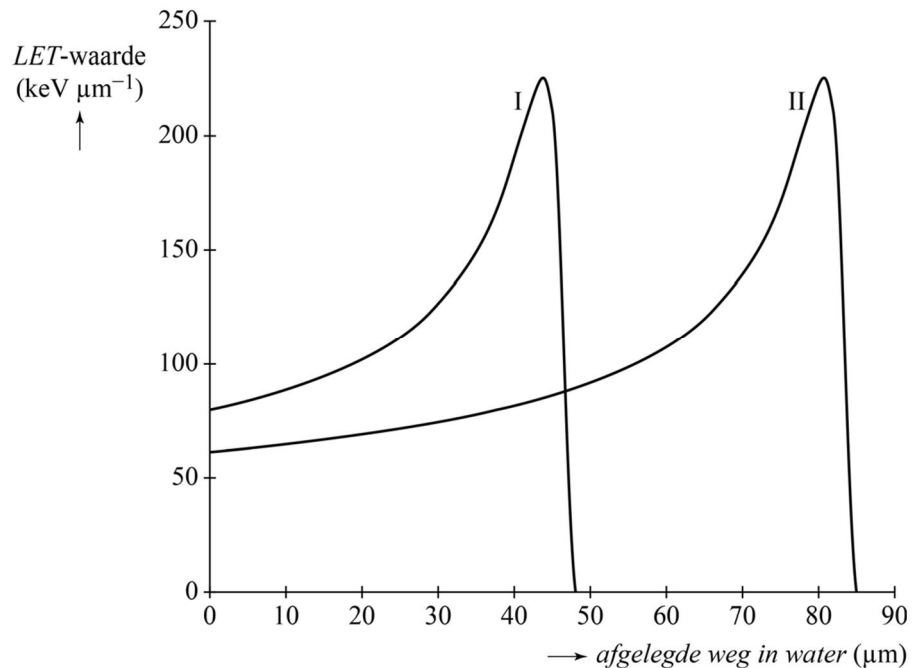
- E de energie in keV;
- x de weglengte in μm .

De LET-waarde kan ook geïnterpreteerd worden als de 'stopkracht' die werkt op het deeltje. De eenheid van LET-waarde is keV/ μm .

a) **Leid af** dat ook newton (N) een eenheid van LET-waarde is.



Alfastralers leiden in het algemeen tot hogere LET-waarden dan bètastralers, en zijn om die reden geschikter voor nuclidetherapie. Van twee alfastralers, I en II, is gemeten hoe de LET-waarde varieert met de afgelegde weg in water. Zie nevenstaand diagram. Het gedrag in water is vergelijkbaar met dat in weefsel.



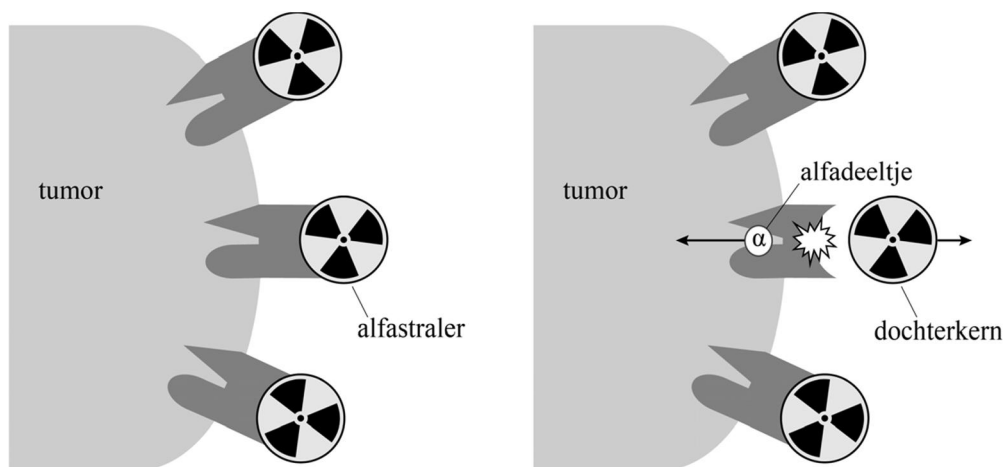
In bovenstaand diagram is te zien dat de LET-waarde een maximum heeft. Voordat dit maximum bereikt wordt, geldt voor een alfadeeltje: hoe lager de snelheid, hoe hoger de LET-waarde.

b) **Leg dit uit** met behulp van bovenstaand diagram.

De alfadeeltjes van alfastraler I hebben bij binnenkomst een hogere LET-waarde dan de alfadeeltjes van alfastraler II. Alfa-deeltjes van alfastraler I komen dus met een lagere kinetische energie het water in dan alfadeeltjes van alfastraler II.

c) **Leg uit** op welke andere twee manieren dat is af te leiden uit bovenstaand diagram.

Alfastralers zijn geschikter voor nuclidetherapie dan bètastralers, maar ze kennen ook een praktisch nadeel dat bij het gebruik van bètastralers niet optreedt. Het uitzenden van een alfadeeltje leidt tot een grote terugslag van de dochterkern. Door deze terugslag kan de dochterkern zich losrukken van de dragerstof. Een dochterkern is zelf vaak ook instabiel. Zie de schematische weergave in onderstaande afbeelding.



d) **Leg uit** welk nadeel er optreedt voor de patiënt wanneer de dochterkern loskomt van de dragerstof.

De grootte van de terugslag is recht evenredig met de grootte van de impuls van het uitgezonden deeltje. Voor de impuls van een deeltje geldt:

$$p = \sqrt{2E_k m} \quad (2)$$

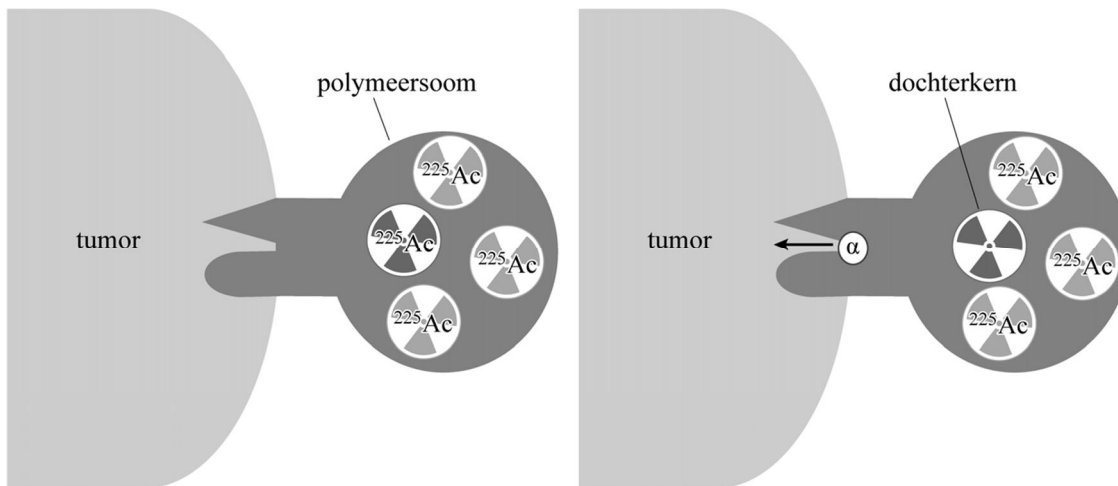
Hierin is:

- p de impuls in kg m/s;
- E_k de kinetische energie in J;
- m de massa in kg.

e) Voer de volgende opdrachten uit:

- **Leid** formule (2) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.
- **Toon aan** dat, bij gelijke energieën, de impuls van een alfadeeltje 85 maal zo groot is als de impuls van een bètadeeltje.

Om te voorkomen dat de dochterkern zich losrukt van de dragerstof, is aan de TU Delft onderzocht of het mogelijk is om alfastralers in te kapselen in kleine bolletjes,



zogenaamde polymeersomen. De dochterkernen van de alfastralers blijven dan gevangen in het polymeersoom. Als alfastraler wordt vaak Actinium-225 gebruikt. In onderstaande afbeelding is dit schematisch weergegeven.

Er zijn tests uitgevoerd met polymersomen die bij inbreng in het lichaam elk een hoeveelheid Actinium-225 bevatten met een activiteit van 0,10 kBq.

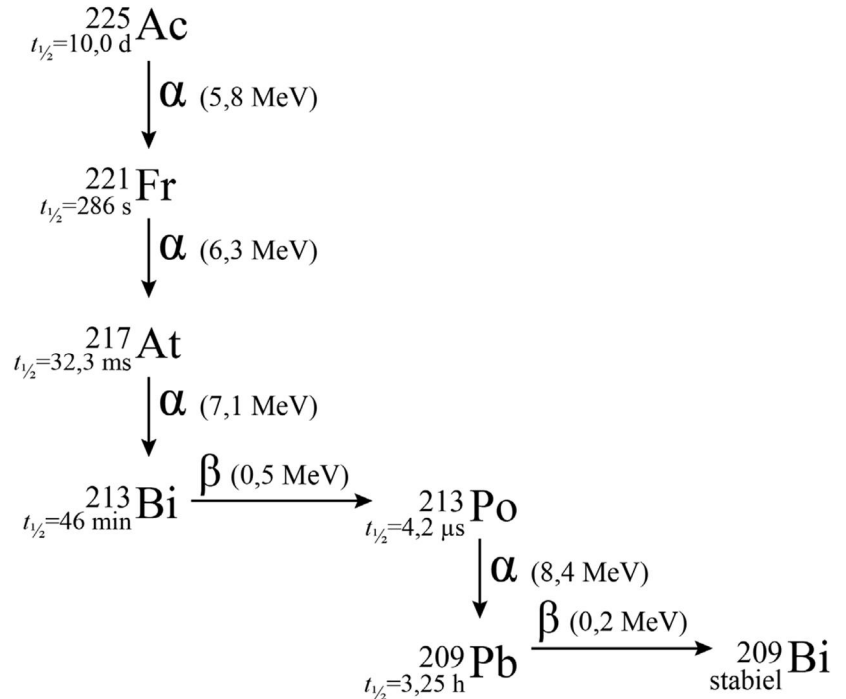
f) **Bereken** de massa Actinium-225 per polymersoom bij inbreng in het lichaam.

In nevenstaande afbeelding is de meest voorkomende vervalreeks gegeven van Actinium-225 tot aan het stabiele Bismuth-209.

Het dosisequivalent dat de tumor ontvangt, wordt groter doordat de dochterkernen van Actinium-225 gevangen blijven in het polymersoom.

g) Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef twee redenen waarom er in de bepaling van het dosisequivalent alleen rekening gehouden hoeft te worden met het alfaverval.
- **Bepaal**, met behulp van bovenstaand schema, hoeveel keer zo groot dit dosisequivalent is bij gebruik van een polymersoom.



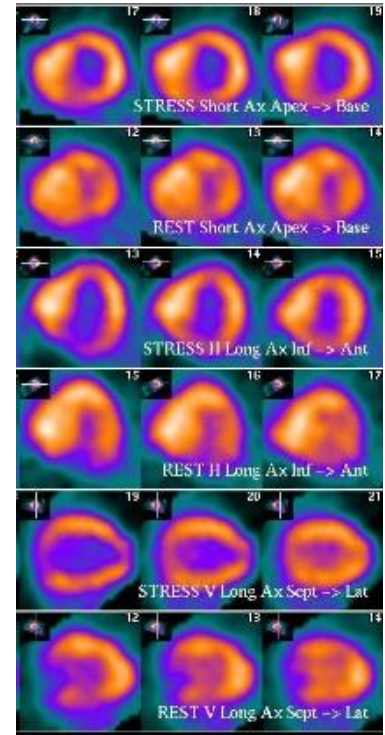
Opgave 2

Met een zogenaamde gammacamera kan een opname gemaakt worden van het hart. In de gammacamera zit een film die gevoelig is voor γ -straling.

Enige tijd voordat de opname gemaakt wordt, krijgt een patiënt een oplossing van kaliumchloride toegediend. Deze oplossing is 'gemerkt' met het radioactieve kalium-43.

Kalium, en dus ook kalium-43, wordt door goed werkende hartspieren beter opgenomen dan door slecht werkende hartspieren. Kalium-43 vervalt onder uitzending van β -straling en γ -straling.

a) Geef de vervalreactie van kalium-43.



Van een bepaalde hoeveelheid kalium-43 is de activiteit als functie van de tijd gemeten. Dit is weergegeven in nevenstaande afbeelding.

Tijdens het maken van de opname is de activiteit van het kalium-43 in het hart op een bepaald tijdstip 0,11 MBq.

b) **Bepaal** de massa van het kalium-43 dat op dat tijdstip in het hart aanwezig is.

Noteer jouw antwoord in twee significante cijfers.

De β -straling die het radioactieve kalium uitzendt, zorgt voor een extra stralingsbelasting van het hart. Het totaal aantal kernen kalium-43, dat door het hart is opgenomen en daar vervalt, bedraagt $8,0 \cdot 10^9$. Neem aan dat 70% van de β -straling door het hart geabsorbeerd wordt.

Het hart heeft een massa van 250 g.

De β -deeltjes hebben een energie van 0,81 MeV.

c) Geef op grond van een **berekening** aan of je bij het maken van deze hartfoto het gezondheidsrisico voor de patiënt aanvaardbaar vindt.

