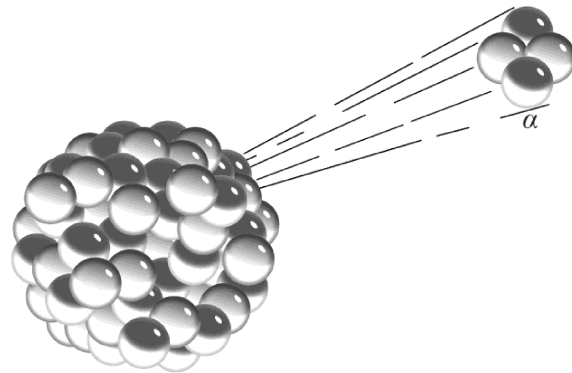


Alfaverval: hoe ontsnapt een α -deeltje uit de kern?

Lees onderstaand artikel.

Een van de eerste ontdekkingen van de kernfysica was dat bijna elke kern, die zwaarder is dan lood-208 alfaverval vertoont.

- Het alfaverval van zware kernen zoals uranium is de bron van alle helium op aarde en zorgt ervoor dat het inwendige van de aarde vloeibaar blijft.
- Het alfaverval van radon (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) is een belangrijke bron van achtergrondstraling.



Voor de klassieke fysica vormde alfaverval een groot dilemma:

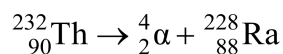
- Enerzijds: als alfadeeltjes voldoende energie hebben om uit de kern te ontsnappen, zouden er helemaal geen zware kernen meer bestaan en zou de wereld doordrenkt zijn van alfadeeltjes.
- Anderzijds: als alfadeeltjes te weinig energie hebben om de kern te verlaten, zou men (klassiek bekeken) nooit alfastraling meten!

Ook het feit dat de levensduren van de verschillende isotopen zeer sterk uiteenlopen, terwijl de kernen en de energie van de uitgezonden α -deeltjes maar weinig van elkaar verschillen, is in de klassieke fysica slecht te begrijpen.

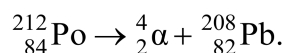
Het begrijpen van Alfa-verval markeert de, soms moeilijke, overgang tussen de klassieke fysica en de quantumfysica!

In figuur 1 is de halveringstijd van een aantal isotopen uitgezet tegen de energie van de uitgezonden α -deeltjes. De uiterste halveringstijden schelen een factor 10^{20} met elkaar.

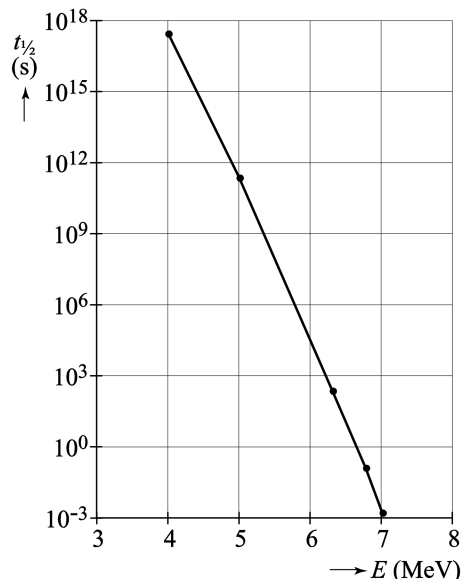
Natuurkundigen zijn lang bezig geweest met het probleem waarom de halveringstijd van de reactie



zoveel groter is dan die van



figuur 1



klassiek?

In de twintiger jaren van de vorige eeuw stelden natuurkundigen een model op waarbij een α -deeltje in een zware kern heen en weer beweegt met constante snelheid.

Het α -deeltje is in dit model opgesloten in een door de kern gevormde energieput en heeft klassiek onvoldoende energie om te ontsnappen.

Volgens de quantumfysica kan het echter naar buiten tunnelen.

In dit model stellen we dat het bewegende α -deeltje **in** de kern dezelfde kinetische energie heeft als **buiten** de kern.

Als je het α -deeltje in de kern als een klassiek deeltje beschouwt, is de snelheid ervan met dit model te berekenen. bij thorium

- 4p **44** Bereken hoeveel procent van de lichtsnelheid de snelheid van het α -deeltje is.

Voor dit model nemen we aan dat voor de straal R van een kern geldt:

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}.$$

Hierin is:

- $R_0 = 1,2 \cdot 10^{-15}$ m de protonstraal;
- A het massagetal van de dochterkern.

Uit dit model volgt dat elke kern dezelfde dichtheid heeft als een proton.

- 2p **45** Toon dat aan.

Onder de ontsnappingskans K verstaan we:

$$K = \frac{\text{aantal deeltjes dat per seconde ontsnapt}}{\text{aantal deeltjes dat per seconde de wand raakt}}.$$

Om de ontsnappingskans K te bepalen wordt de volgende redenering opgesteld:

- $\frac{v_\alpha}{2R}$ is gelijk aan het aantal keer per seconde dat het α -deeltje de kern-wand treft.
- $\frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}$ is gelijk aan het aantal α -deeltjes dat elke seconde aan de kern ontsnapt.
- $K = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{2R}{v_\alpha}$ is gelijk aan de kans dat een α -deeltje dat de kern-wand treft, aan de kern ontsnapt.

- 3p **46** Leid deze drie formules af.

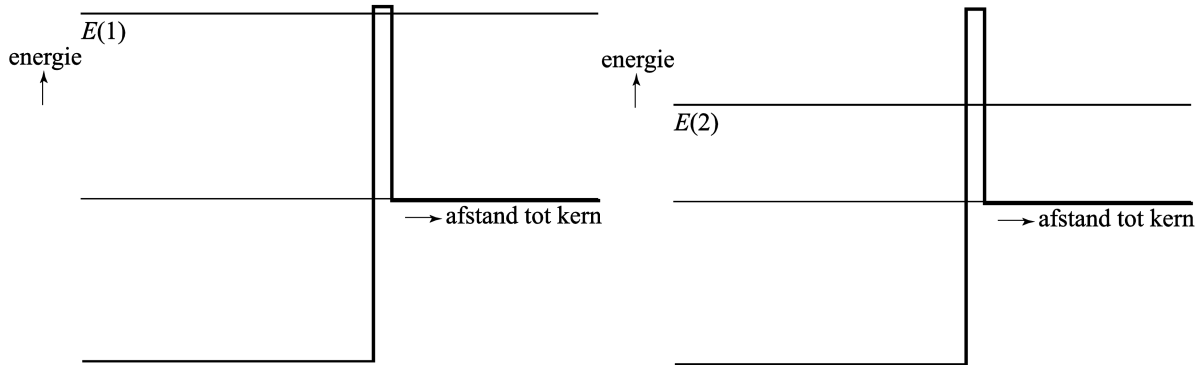
In Polonium-212 heeft het α -deeltje een snelheid van $v_\alpha = 0,069c$.

- 3p **47** Bereken de kans K die een α -deeltje heeft om aan een Polonium-212 kern te ontsnappen.

quantum!

Een eenvoudig quantumfysisch model van een α -deeltje in een zware kern is een energieput met de kern-wand als rechthoekige energiebarrière. Zie figuur 2. Twee verschillende kernen met een α -deeltje worden hier vergeleken. De energieën van die twee α -deeltjes zijn weergegeven. Deze energieën verschillen een factor 2 ten opzichte van het nulniveau.

figuur 2



De tunnelkansen van de α -deeltjes in de twee kernen worden K_1 en K_2 genoemd.

Hieronder staan vijf uitspraken over de tunnelkansen K_1 en K_2 :

- a K_1 is veel groter dan $2K_2$;
- b K_1 is iets groter dan $2K_2$;
- c K_1 is gelijk aan $2K_2$;
- d K_1 is iets kleiner dan $2K_2$;
- e K_1 is veel kleiner dan $2K_2$.

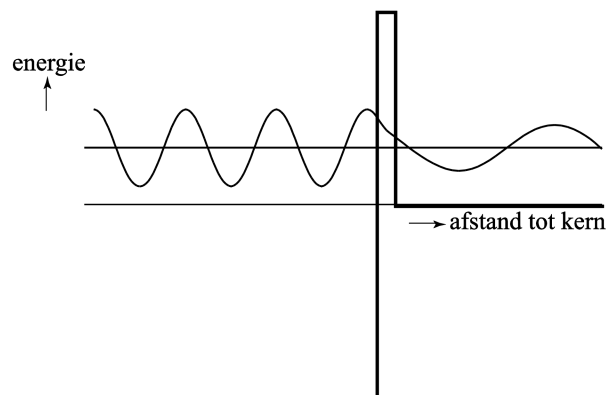
3p 48 Leg uit welke uitspraak juist is. Gebruik de figuren 1 en 2.

In dit model wordt het α -deeltje beschouwd als een golf met de de Broglie-golflengte λ_B . Een momentopname daarvan voor Polonium-212 is weergegeven in figuur 3.

De de Broglie-golflengte λ_B van het vrije deeltje is aan de rechterkant in figuur 3 weergegeven.

4p 49 Bereken de de Broglie-golflengte λ_B voor een α -deeltje dat vrijkomt bij het verval van Polonium-212, gebruik makend van gegevens in BiNaS.

figuur 3



2p 50

In werkelijkheid is de energie-barrière niet rechthoekig, zoals weergegeven in figuur 2, maar een dalende functie van de afstand vanwege het elektrische veld van de dochterkern. Zie figuur 4.

Leg uit dat de energie-barrière zoals weergegeven in figuur 4 de gegevens uit figuur 1 meer ondersteunt, dan de energie-barrière uit figuur 2.

figuur 4

