

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. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.

### Opgave 1

Lees het volgende artikel.

#### Lichtgewicht?

Een foton heeft geen rustmassa maar wel energie. Echter volgens de vergelijking van Einstein  $E = mc^2$  zijn massa en energie equivalente begrippen. Maar iets dat massa heeft, hoe gering ook, moet gevoelig zijn voor de zwaartekracht! In 1960 slaagden de natuurkundigen Pound en Rebka erin dit idee van Einstein experimenteel te testen. Zij richtten  $\gamma$ -fotonen vanaf de top van de Harvard-toren naar de aarde. Tijdens deze val neemt de fotonenergie toe onder invloed van de zwaartekracht. Daarmee wordt ook de frequentie van de fotonen groter. Deze minieme toename in de frequentie konden Pound en Rebka meten. Voor dit experiment is de extreme nauwkeurigheid van  $1:10^{15}$  vereist.



Voor de fotonen gebruikten Pound en Rebka  $\gamma$ -straling afkomstig van  ${}^{57}_{26}\text{Fe}$ .

Deze isotoop ontstaat bij een vervalreactie, waarbij  ${}^{57}_{27}\text{Co}$  een deeltje invangt.

a) Geef de reactievergelijking van het ontstaan van  ${}^{57}_{26}\text{Fe}$ .

De gevormde  ${}^{57}_{26}\text{Fe}$ -kern bevindt zich in een soort aangeslagen toestand en valt terug naar de grondtoestand onder uitzenden van de  $\gamma$ -straling, met een halveringstijd

$$t_{1/2} = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ s.}$$

Voor het experiment is een voortdurende stroom  $\gamma$ -fotonen nodig.

b) **Leg uit** dat de korte halveringstijd geen probleem is voor deze voortdurende stroom  $\gamma$ -fotonen.

Voor de frequentie  $f_g$  van de fotonen op de grond geldt:

$$h \cdot f_g = h \cdot f_h + E_z$$

$$\text{waarin geldt: } E_z = \frac{h \cdot f_h}{c^2} \cdot g \cdot H$$

Hierin is:

- $f_g$  de frequentie waarmee een foton de grond bereikt;
- $f_h$  de frequentie waarmee een foton in de top van de toren wordt uitgezonden;
- $E_z$  de zwaarte-energie van een foton;
- $h$  de constante van Planck;
- $H$  de hoogte van de toren:  $H = 22,6 \text{ m}$ ;
- $g$  de valversnelling;
- $c$  de lichtsnelheid.

c) **Leid** de uitdrukking voor  $E_z$  af.

De nauwkeurigheid van het experiment moet zo groot zijn, omdat de verandering in de fotonenergie tijdens de val erg klein is. De verhouding tussen  $E_z$  en de oorspronkelijke fotonenergie bepaalt namelijk hoe groot de nauwkeurigheid in dit experiment moet zijn.

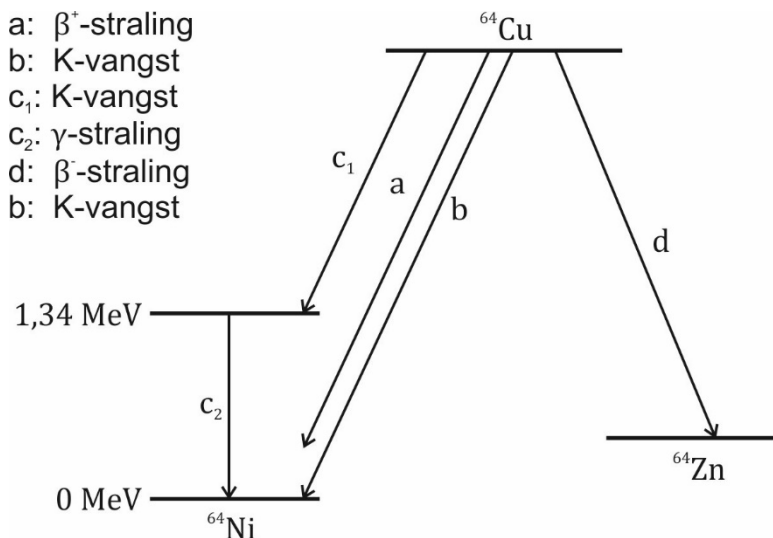
d) **Bereken** deze verhouding bij dit experiment.

## Opgave 2

De isotoop  $^{64}\text{Cu}$  is instabiel en kan op verschillende manieren vervallen. Er zijn twee stabiele eindproducten:  $^{64}\text{Ni}$  en  $^{64}\text{Zn}$ . Nevenstaande afbeelding is een schematische weergave van de vervalprocessen met vier overgangen a, b, c ( $c_1$  en  $c_2$ ) en d.

Voor de directe overgang van de koperkern naar de grondtoestand van de nikkelkern bestaan twee mogelijkheden:

- a: een koperkern vervalt onder het uitzenden van  $\beta^+$ -straling met een kinetische energie van  $0,66 \text{ MeV}$ ;
  - b: een koperkern vervalt via K-vangst.
- a) Bij overgang a zal het,  $\beta^+$ -deeltje de kern verlaten. De kans is echter groot dat dit  $\beta^+$ -deeltje het atoom niet verlaat. Beschrijf met welk deeltje zo'n  $\beta^+$ -deeltje een reactie aangaat en wat van deze reactie het eindproduct is.
- b) Bij overgang b vindt K-vangst plaats. Beschrijf wat K-vangst is en leg daarbij uit wat er met het atoomnummer gebeurt.



Ook bij overgang  $c_1$  is er sprake van K-vangst. Hierbij ontstaat een nikkelkern in een aangeslagen toestand. Bij overgang  $c_2$  tussen deze aangeslagen toestand en de grondtoestand van de nikkelkern komt een gammafoton met een energie van 1,34 MeV vrij.

- c) **Bereken** de golflengte van de gammastraling.
- d) **Leg uit** of door het uitzenden van het gammafoton bij overgang  $c_2$  de bindingsenergie van de Ni kern groter wordt, gelijk blijft of kleiner wordt.