

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.

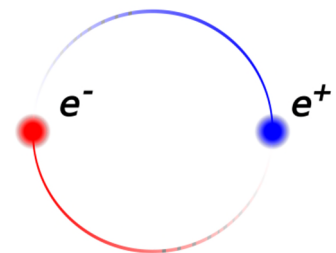
**Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.**

### Opgave 1

Het antideeltje van een elektron is het positron. Als positronenbron voor experimenten wordt veel gebruik gemaakt van natrium-22.

a) Geef de vervalvergelijking voor het verval van natrium-22.

Als positronen in een materiaal binnendringen dan worden deze sterk afgeremd. Als zo'n langzaam positron een elektron tegenkomt dan kan het gebeuren dat het elektron en het positron een kortstondige binding aangaan. Deze configuratie wordt een positroniumatoom genoemd. Het positron vervult dan als het ware de rol van het proton in een waterstofatoom. In een klassiek model bevinden het elektron en het positron zich op een vaste afstand van elkaar.



Volgens het klassieke model voldoet de potentiële energie in het elektrisch veld aan onderstaand verband.

$$E_p = -f \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

Hierin is  $E_p$  de potentiële elektrische energie in J, is  $f$  de constante van Coulomb, zijn  $q_1$  en  $q_2$  de ladingen in C en is  $r$  de afstand tussen de ladingen in m.

Deze uitdrukking is analoog aan de uitdrukking die je al kent voor de potentiële energie in een gravitatieveld.

b) **Bereken** hoe groot de afstand tussen het positron en het elektron is als de potentiële energie  $-13,6$  eV bedraagt.

Volgens een kwantummechanisch model heeft een positroniumatoom energieniveaus die voldoen aan:

$$E_n = -\frac{6,8 \text{ eV}}{n^2}$$

c) **Teken** het energieniveauschema voor positronium en **ga na** of positronium licht kan uitzenden in het zichtbare gebied van het elektromagnetische spectrum.

Positronium is zeer instabiel en vervalst snel weer.  
 Hierbeneden zijn vier mogelijke vervalvergelijkingen weergegeven waarvan er slechts één correct is.

- 1)  $e^+ + e^- \rightarrow 2n$
- 2)  $e^+ + e^- \rightarrow 2\mu^-$
- 3)  $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$
- 4)  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$

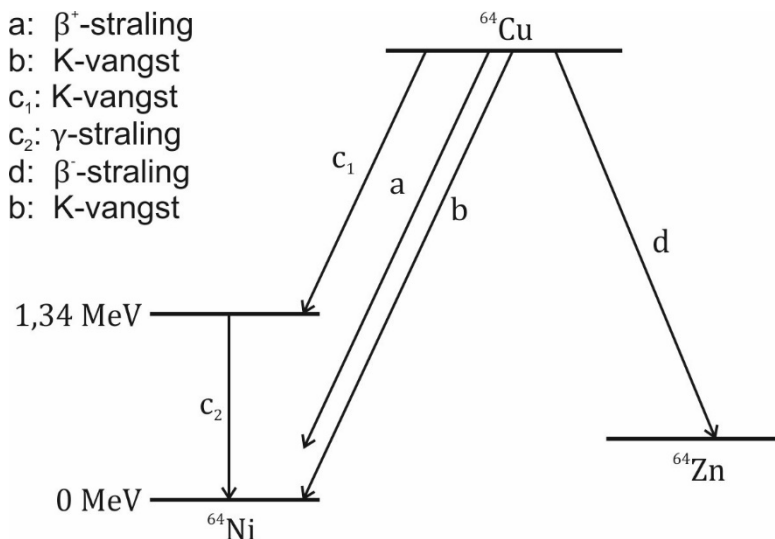
d) **Leg uit** welke van de vier mogelijkheden de correcte is.

### 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 vervalst onder het uitzenden van  $\beta^+$ -straling met een kinetische energie van 0,66 MeV;
  - b: een koperkern vervalst 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.



### Opgave 3

In de zon wordt door kernfusie helium gevormd uit waterstof.

De eerste stap in dit proces bestaat uit fusie van twee protonen, waarbij een positron ( $\beta^+$ ), een neutrino  $\nu$  en nog een deeltje ontstaan.

a) Geef de reactievergelijking van deze fusie.

Na een aantal stappen ontstaat een  ${}^4\text{He}$ -kern. Bij dit proces worden netto vier protonen en twee elektronen omgezet in een  ${}^4\text{He}$ -kern en twee neutrino's.

b) **Bereken** hoeveel energie er in totaal per heliumkern vrijkomt.

Neem daarbij aan dat de neutrino's geen massa hebben.

De zonkant van onze planeet wordt permanent getroffen door een bombardement van zonneneutrino's.

Elke seconde worden er door de zon  $2,0 \cdot 10^{38}$  neutrino's uitgezonden.

De neutrino's bewegen gelijkmatig in alle richtingen en worden onderweg in de ruimte niet tegengehouden.

c) **Bereken** het aantal neutrino's dat per seconde de aarde treft.