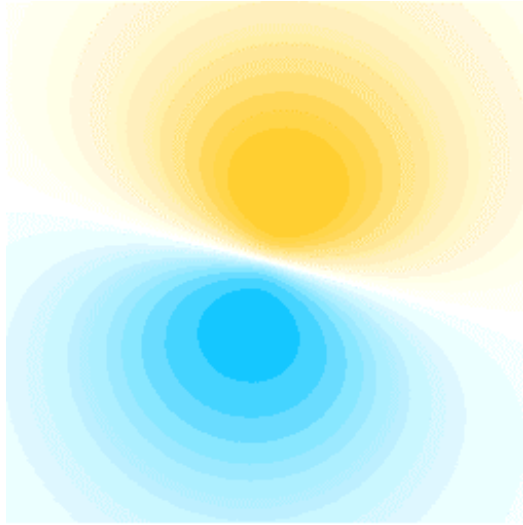


Schoolexamen Moderne Natuurkunde



Natuurkunde 1,2 VWO 6
19 april 2004
Tijdsduur: 90 minuten

Deze toets bestaat uit 3 opgaven met 13 vragen. Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden. Na de laatste vraag staat het woord **Einde** afgedrukt.

Bij dit schoolexamen is een blad toegevoegd met enkele gegevens en formules die wel tot de stof behoren, maar niet in Binas zijn te vinden. Uit het feit dat ze hier staan mag niet de conclusie worden getrokken dat ze in deze toets ook beslist gebruikt moeten worden.

Succes !

Moderne Natuurkunde *gegevens en formules*

Tabel 1: Elementaire deeltjes

Elementaire Deeltjes: Fermionen							
<i>Quarks</i>				<i>Leptonen</i>			
Generatie	Deeltje/smaak	Massa (GeV/c ²)	Lading (e)	Generatie	Deeltje/smaak	Massa (GeV/c ²)	Lading (e)
1	u up quark	0.003	2/3	1	ν_e elektron neutrino	<1. 10 ⁻⁵	0
	d down quark	0.006	-1/3		e^- elektron	0.000511	-1
2	c charm quark	1.3	2/3	2	ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
	s strange quark	0.1	-1/3		μ^- muon	0.106	-1
3	t top quark	175	2/3	3	ν_τ tau neutrino	<0.02	0
	b bottom quark	4.3	-1/3		τ tau	1.7771	-1
Elementaire Deeltjes: Bosonen							
<i>Sterke interactie</i>				<i>Elektrozwakke interactie</i>			
	g gluon	0	0		γ photon	0	0
					W ⁻ W-min-boson	80.4	-1
					W ⁺ W-plus-boson	80.4	+1
	graviton (hypothetisch)				Z ⁰ Z boson	91.2	0

- Ieder deeltje heeft een antideeltje, met dezelfde massa en met tegengestelde lading, baryon- of leptongetal.
- Alle genoemde quarks hebben baryongetal 1/3 en leptongetal 0
- Alle genoemde leptonen hebben baryongetal 0 en leptongetal 1

Tabel 2: Enkele samengestelde deeltjes

deeltje	samenstelling	baryongetal	leptongetal
p ⁺ proton	uud	1	0
p ⁻ anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0
n neutron	udd	1	0
\bar{n} anti-neutron	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	-1	0
π^- pi-min-meson	$\bar{u}d$	0	0
π^+ pi-plus-meson	$u\bar{d}$	0	0
π^0 pi-nul- meson	$u\bar{u} / d\bar{d}$	0	0
H waterstofatoom	p^+e^-	1	1

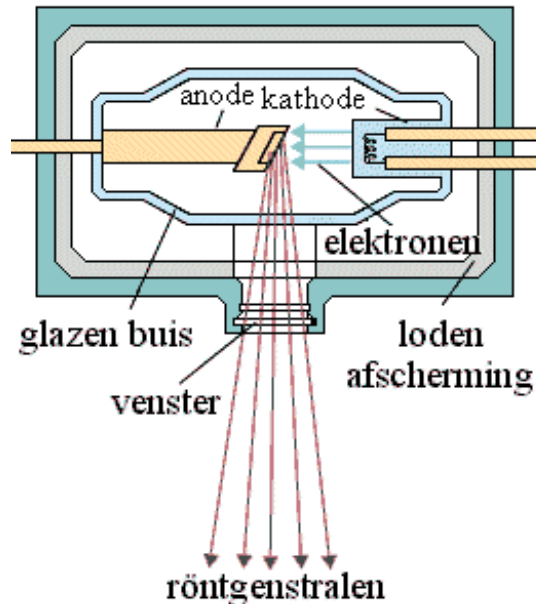
Tabel 3: Formules

$$E_k = \frac{p^2}{2m}$$

$$E_k = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right)$$

Opgave 1 Röntgenstraling

figuur 1



In een röntgenbuis wordt röntgenstraling opgewekt door elektronen te versnellen en te laten inslaan op een metalen anode. Als een groot deel van de energie van een elektron in één stap wordt omgezet in straling ontstaat hierbij röntgenstraling.

- 1p 1 Wat is het golflengtegebied van röntgenstraling? (zoek op in BINAS).
- 2p 2 Leg uit waarom het voor het opwekken van röntgenstraling belangrijk is, dat een groot deel van de energie van de elektronen in één stap wordt omgezet in straling en niet in een groot aantal kleine stappen.

Op een bepaald moment wordt de versnelling verdubbeld. De De Broglie golflengte van de elektronen verandert hierdoor van λ_1 in λ_2 .

- 4p 3 Bereken de verhouding $\lambda_1 : \lambda_2$

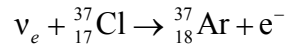
De anode wordt meestal gemaakt van een zwaar metaal, bijvoorbeeld wolfram. Dit heeft tot gevolg dat een deel van de straling wordt uitgezonden met specifieke golflengten, behorend tot het spectrum van dit metaal. Een elektron wordt weggeslagen uit een laag energieniveau van het atoom. Een elektron uit een hoger energieniveau vult het gat op en zendt daarbij een röntgenfoton uit.

We bekijken een elektron dat uit het tweede energieniveau terugvalt naar een gat in het laagste niveau. Het zendt hierbij een foton uit met een golflengte van 0,1 nm. Met het model van het deeltje in een doos kan nu een schatting worden gemaakt van de ruimte die de elektronen in deze lage energieniveaus in het atoom innemen.

- 5p 4 Bereken de diameter van de ruimte die de elektronen in deze energieniveaus innemen met behulp van het eendimensionale doosjesmodel.

Opgave 2 Neutrino's

De Amerikaanse fysicus Davis bouwde in 1954 de eerste neutrinedetector. Hij probeerde neutrino's aan te tonen via een reactie met chlooratomen in een vloeistof waarbij argon gevormd wordt. Davis was in staat om zeer kleine hoeveelheden argon te detecteren. De reactie van neutrino's met chloor is als volgt:



- 3p 5 Bereken hoeveel energie het neutrino minimaal moet hebben om deze reactie mogelijk te maken. Ga ervan uit dat de chloorkern voor de reactie stilstaat

Het neutrino reageert in feite met één van de deeltjes in de chloorkern.

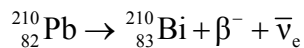
- 3p 6 Geef het reactiediagram van de reactie met dit deeltje.

Davis vond een oude mijn in South Dakota en bouwde daarin een tank met 615 ton perchloorethyleen (C_2Cl_4), een vloeistof die veel wordt gebruikt in stomerijen. Davis hoopte met deze opstelling zonneneutrino's waar te nemen. Deze neutrino's bereiken de aarde tezamen met allerlei andere deeltjes die gezamenlijk worden aangeduid met de term kosmische straling.

- 2p 7 Noem een reden waarom hij deze tank graag diep onder de grond wilde opstellen.

Er bleken inderdaad neutrino-reacties te worden waargenomen, gemiddeld één per twee dagen. Vandaar dat er lang gemeten moest worden om betrouwbare conclusies te kunnen trekken. Davis' experimenten besloegen een periode van 40 jaar!

De aarde bevat aanzienlijke hoeveelheden radioactieve kernen. Overal zijn bijvoorbeeld wel kleine hoeveelheden thorium en uranium aanwezig. Sommige vervalproducten van deze kernen vervallen verder via β -verval, zoals



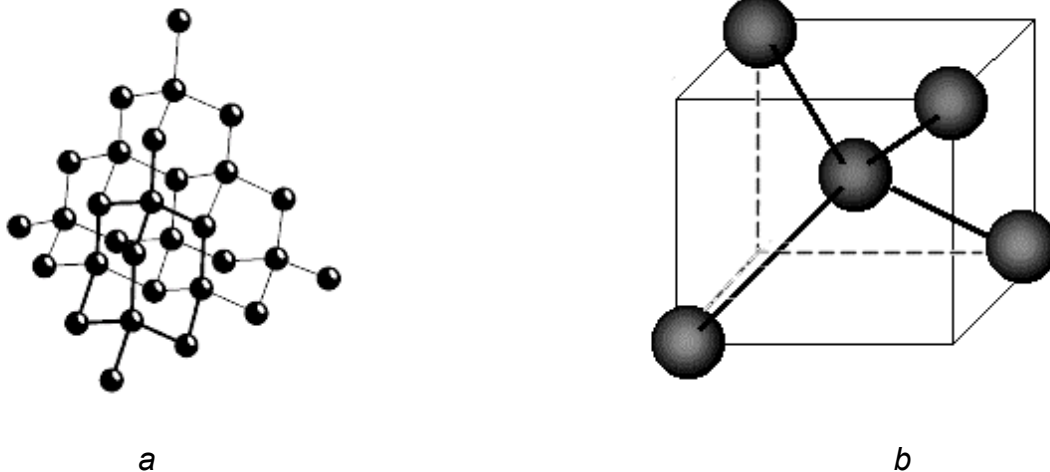
Het antineutrino uit deze reactie kan ook een reactie met een chloorkern aangaan en hierbij komt een positron vrij.

- 3p 8 Leg uit welke kern hierbij geproduceerd wordt en geef de reactievergelijking.

Opgave 3 Diamant

Diamant is een koolstofkristal, evenals grafiet. Dankzij de manier waarop de atomen zijn gestapeld en de sterkte van de bindingen tussen naburige atomen is diamant echter veel harder.

figuur 1



Figuur 1a geeft een beeld van de kristalstructuur. Hierin is te zien dat ieder koolstofatoom is verbonden met zijn vier naaste buren. In figuur 1b is te zien dat die naaste buren op de hoekpunten van een kubus zitten. Het koolstofatoom binnen de kubus bevindt zich op het snijpunt van de lichaamsdiagonalen.

Als er géén druk wordt uitgeoefend op het kristal nemen de bindingen een evenwichtslengte aan van $L_0 = 0,154$ nm.

- 2p 9 □ Laat door een berekening zien dat de ribbe van de kubus in figuur 1b gelijk is aan 0,178 nm.

De kubussen uit figuur 1b vullen niet de gehele ruimte van het kristal op. Wel kan worden afgeleid dat, gemiddeld over het *hele* kristal genomen, het volume per koolstofatoom gelijk is aan het volume van de getekende kubus.

- 3p 10 □ Bereken met behulp van deze ribbe de dichtheid van diamant.

In een model van het diamantkristal worden de bindingen tussen de atomen voorgesteld door ééndimensionale doosjes. Ieder doosje bevat twee bindingselektronen in de grondtoestand. De lengte L van de bindingen verandert als er druk wordt uitgeoefend op het kristal.

Zoals bekend geldt voor de kinetische energie van een elektron in de grondtoestand van een ééndimensionaal doosje de vergelijking:

$$E_k = \frac{a}{L^2} \quad \text{met} \quad a = \frac{h^2}{8m_e} = 6,02 \cdot 10^{-38} \text{ Jm}^2$$

Als het kristal wordt ingedrukt, wordt de bindingslengte L kleiner en neemt de kinetische energie van de bindingselektronen dus toe. Dit zorgt ervoor dat het kristal moeilijk in te drukken is.

Ook als de bindingslengte groter wordt dan de evenwichtslengte neemt de energie toe. We nemen aan dat er ook een potentiële energie E_p is, die toeneemt naarmate het doosje langer wordt. We nemen aan dat deze potentiële energie omgekeerd evenredig is met de lengte van het doosje. De totale energie E_d van de twee elektronen in het doosje wordt dan

$$E_d = \frac{2a}{L^2} + \frac{b}{L}$$

Deze energie is minimaal bij $L = L_0$

3p **11** □ Toon aan dat b gegeven wordt door $b = -\frac{4a}{L_0}$

Met gebruik van dit resultaat kan E_d geschreven worden als

$$E_d = \frac{2a}{L^2} - \frac{4a}{LL_0}$$

Een diamant van $1,0 \text{ cm}^3$ bevat $3,5 \cdot 10^{23}$ bindingen. Door gelijkmatig druk uit te oefenen op alle kanten van het kristal wordt bereikt dat al deze bindingen 1,00 % korter worden. Het volume van het kristal wordt dan 3,0 % kleiner.

5p **12** □ Laat door een berekening zien dat de totale toename van de energie van alle bindingen in de diamant gelijk is aan $1,8 \cdot 10^2 \text{ J}$.

Uit de energietoename van het totale kristal kan de druk die voor het samenpersen ervan nodig is, berekend worden met de formule:

$$\Delta E = \frac{1}{2} p \Delta V \quad \text{met} \quad \begin{array}{l} \Delta E \text{ de totale energietoename van alle bindingen in het kristal,} \\ \Delta V \text{ de volumeafname van het kristal en} \\ p \text{ de benodigde druk.} \end{array}$$

Voor de genoemde volumeverandering van diamant blijkt in de praktijk een druk nodig te zijn van $1,3 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$.

3p **13** □ Toon met behulp van een berekening aan dat de druk volgens het gebruikte model niet meer dan 10% afwijkt van de gemeten waarde.

Einde