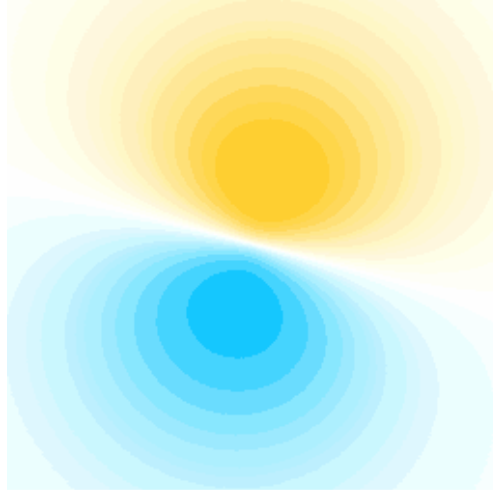


# Schoolexamen Moderne Natuurkunde



## Natuurkunde 1,2 VWO 6

16 april 2007

Tijdsduur: 90 minuten

Deze toets bestaat uit twee delen (I en II). In deel I wordt basiskennis getoetst via meerkeuzevragen. Deel II bestaat uit open opgaven. De meerkeuzevragen zijn elk één punt waard. Bij de opgaven staat aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden. Het maximum aantal punten dat behaald kan worden is 38. Na de laatste vraag staat het woord **Einde** afgedrukt.

Bij de toets hoort een uitwerkbijlage met een antwoordblad voor de meerkeuzevragen en een blad voor het uitwerken van de vragen

Hierna volgen enkele tabellen 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							
Quarks				Leptonen			
Generatie	Deeltje/smaak	Massa (GeV/c <sup>2</sup> )	Lading (e)	Generatie	Deeltje/smaak	Massa (GeV/c <sup>2</sup> )	Lading (e)
1	u up quark	0,003	2/3	1	ν <sub>e</sub> elektron neutrino	<1x 10 <sup>-5</sup>	0
	d down quark	0,006	-1/3		e <sup>-</sup> elektron	0,000511	-1
2	c charm quark	1,2	2/3	2	ν <sub>μ</sub> muon neutrino	<0,0002	0
	s strange quark	0,1	-1/3		μ <sup>-</sup> muon	0,106	-1
3	t top quark	175	2/3	3	ν <sub>τ</sub> tau neutrino	<0,02	0
	b bottom quark	4,2	-1/3		τ <sup>-</sup> tau	1,784	-1
Elementaire Deeltjes: Bosonen							
Sterke interactie				Elektrozwakke interactie			
	g gluon	0	0		γ photon	0	0
					W <sup>-</sup> W-min-boson	82	-1
					W <sup>+</sup> W-plus-boson	82	+1
Gravitatie					Z <sup>0</sup> Z boson	93	0
	graviton (hypothetisch)						

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 <sup>+</sup> proton	uud	1	0
p <sup>-</sup> anti-proton	ūūd̄	-1	0
n neutron	udd	1	0
n̄ anti-neutron	ūdd̄	-1	0
π <sup>-</sup> pi-min-meson	ūd̄	0	0
π <sup>+</sup> pi-plus-meson	ūd̄	0	0
π <sup>0</sup> pi-nul-meson	uū / d̄d̄	0	0
H waterstofatoom	p <sup>+</sup> e <sup>-</sup>	1	1

Tabel 3: Formules

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

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

# UITWERKBIJLAGE

## School Examen Project Moderne Natuurkunde

16 April 2007

### 1. Antwoordblad Meerkeuzevragen

#### Instructies:

- Kies een antwoord door aan te kruisen X.
- Beantwoord elke vraag, ook als je niet zeker bent.
- Ieder goed antwoord levert 1 punt op.
- Als je je antwoord wilt veranderen, dan kras je het ongewenste antwoord duidelijk door en kruis je een ander antwoord aan (zie voorbeeld).

**Voorbeeld**

Gekozen antwoord: D

A    B    C    ~~D~~    E

Verbetering van D naar A

~~X~~    B    C    ~~scribble~~    E

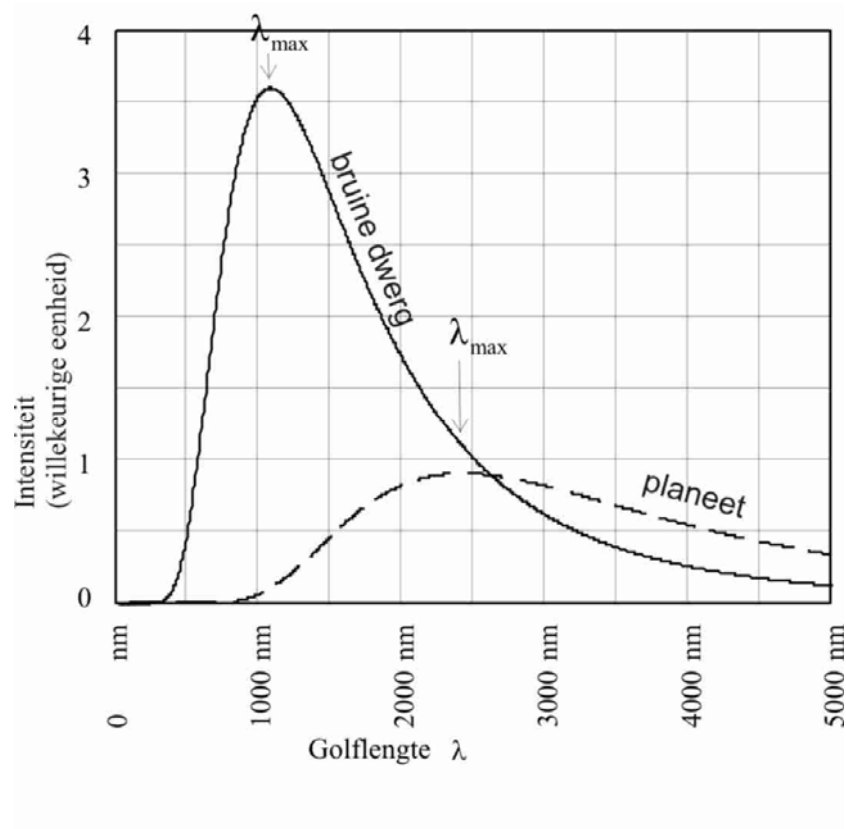
Verbetering terug naar D

~~scribble~~    B    C    ~~scribble~~ ~~X~~    E

1.    A    B    C    D
2.    A    B    C    D
3.    A    B    C    D
4.    A    B    C    D
5.    A    B    C    D
6.    A    B    C    D
7.    A    B    C    D
8.    A    B    C    D
9.    A    B    C    D
10.    A    B    C    D

2. *Uitwerkingen open vragen*

**Opgave 2 vraag 9**



antwoord:

.....

.....

### Deel I: Meerkeuzevragen

**Instructies:** Kies één antwoord. Beantwoord elke vraag, ook als je niet zeker bent. Ieder goed antwoord levert 1 punt op.

- 1 Voor de golflengte van een gebonden deeltje, dat zich in een eendimensionaal doosje met lengte  $L$  bevindt geldt:

- A  $\lambda = 2L/n$
- B  $\lambda = L/2n$
- C  $\lambda = 2nL$
- D  $\lambda = nL/2$

- 2 Een deeltje bevindt zich in een eendimensionale doos in de eerste aangeslagen toestand. Er volgen hierover twee beweringen.

- I. De kans het deeltje bij de randen van de doos aan te treffen is gelijk aan nul.
- II. De kans het deeltje in het midden van de doos aan te treffen is gelijk aan nul.

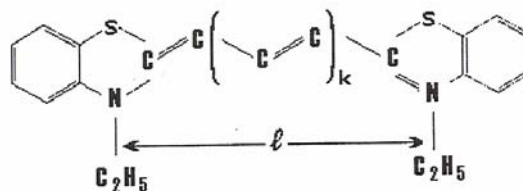
Welke bewering(en) is (zijn) juist?

- A Geen van beide.
- B Alleen I.
- C Alleen II.
- D Beide.

- 3 Voor welk van de volgende deeltjes geldt het uitsluitingsprincipe van Pauli NIET?

- A Muonen
- B Quarks
- C Pionen
- D Neutronen

- 4 Nevenstaande structuurformule is de algemene formule voor een bepaald type organische kleurstof. De kleur van de stof hangt af van  $k$ .



De zogenaamde  $\pi$ -elektronen kunnen vrij langs de ketel over lengte  $\ell$  bewegen en gedragen zich daarom als deeltjes in een doosje met lengte  $\ell$ . Voor  $k = 0$  zijn er zes zulke  $\pi$ -elektronen, die verdeeld zijn over verschillende mogelijke toestanden. Als het molecuul in de grondtoestand zit, kan het elektromagnetische straling met verschillende frequenties absorberen.

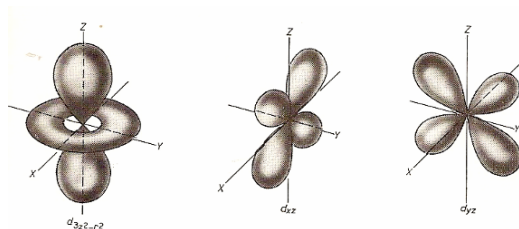
Welke overgang maakt een van de  $\pi$ -elektronen als het molecuul daarbij straling absorbeert met de kleinst mogelijke frequentie?

- A Van de grondtoestand naar de eerste aangeslagen toestand.
- B Van de tweede naar de derde aangeslagen toestand.
- C Van de derde naar de vierde aangeslagen toestand.
- D Van de zesde naar de zevende aangeslagen toestand.

Lees verder

- 5 Wat geldt er voor een elektron in een waterstofatoom?
- A Naarmate het zich dichterbij de kern bevindt is de potentiële energie ten gevolge van de elektromagnetische aantrekkingskracht sterker negatief en de kinetische energie sterker positief.
  - B Naarmate het zich dichterbij de kern bevindt is de potentiële energie ten gevolge van de elektromagnetische aantrekkingskracht minder sterk negatief en de kinetische energie sterker positief.
  - C Naarmate het zich dichterbij de kern bevindt is de potentiële energie ten gevolge van de elektromagnetische aantrekkingskracht sterker negatief en de kinetische energie minder sterk positief.
  - D Naarmate het zich dichterbij de kern bevindt is de potentiële energie ten gevolge van de elektromagnetische aantrekkingskracht minder sterk negatief en de kinetische energie minder sterk positief.

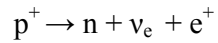
- 6 Asymmetrische golffuncties geven aanleiding tot moleculen met bepaalde vormen.  
Hiernaast staat een aantal van die golffuncties weergegeven.



Wanneer zal een dergelijke golffunctie aanleiding geven tot een vorm van het molecuul, die van deze golffunctie afgeleid kan worden?

- A Als alle mogelijke plekken behorende bij deze golffunctie bezet zijn, met andere woorden als de valentieschil 'vol' is.
  - B Alleen als er nog een of enkele plekken vrij zijn behorende bij de golffunctie, met andere woorden als de valentieschil 'bijna vol' is.
  - C Alleen als er slechts een of enkele plekken behorende bij de golffunctie bezet zijn, met andere woorden, als de valentieschil 'vrijwel leeg' is.
  - D In zowel de situaties die genoemd zijn onder B als onder C.
- 7 Een neutron is instabiel. In atoomkernen hebben de aanwezige protonen een stabiliserend effect op de neutronen, maar desalniettemin komt het verval van neutronen ook in atoomkernen voor.  
Tot welke type radioactief verval van de atoomkern leidt dit?
- A Alleen tot  $\alpha$ -verval
  - B Alleen tot  $\beta^-$ -verval
  - C Alleen tot  $\beta^+$ -verval
  - D Zowel tot  $\beta^-$ - als tot  $\beta^+$ -verval

8 We beschouwen onderstaande reactie:



Deze reactie is:

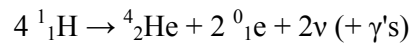
- A mogelijk.
- B onmogelijk, want er is geen behoud van lading.
- C onmogelijk, want er is geen behoud van leptongetal.
- D onmogelijk, want er is geen behoud van baryongetal.

9 Voor het waarnemen van hemelse objecten is met name de hoekafstand, waaronder we het object zien van groot belang. Toevallig blijken de hoeken, waaronder we de maan en de zon zien vrijwel gelijk aan elkaar te zijn. We noemen de afstand aarde-zon  $d_{AZ}$  de straal van de maan  $r_M$  et cetera.

Wat blijkt er uit de gedane waarneming?

- A  $r_A : r_M = d_{AM} : d_{MZ}$
- B  $r_A : r_Z = d_{AM} : d_{AZ}$
- C  $r_Z : r_M = d_{AZ} : d_{MZ}$
- D  $r_Z : r_M = d_{AZ} : d_{AM}$

10 De zon haalt de energie die ze uitstraalt voor een groot deel uit de fusie van waterstof tot helium volgens de reactie:



Per gevormde heliumkern komt ruim  $4 \cdot 10^{-12}$  J vrij.

Stel dat het hele vermogen, dat de zon uitstraalt wordt geproduceerd door deze reactie, hoeveel kg waterstof fuseert er dan ongeveer per seconde in de zon?

- A Ongeveer  $1 \cdot 10^{38}$  kg
- B Ongeveer  $4 \cdot 10^{10}$  kg
- C Ongeveer  $2 \cdot 10^{11}$  kg
- D Ongeveer  $6 \cdot 10^{11}$  kg

## Deel II: Open vragen

### Opgave 1 Sigma-deeltjes

Lees onderstaand artikel:

#### **Twee exotische deeltjes ontdekt bij de Tevatronversneller in de VS.**

Bij de Tevatronversneller van het Fermi-lab in Illinois in de Verenigde Staten zijn voor het eerst twee nieuwe exotische deeltjes waargenomen. De deeltjes zijn 'zware' broers van de protonen en neutronen, de kerndeeltjes waar atoomkernen van alle ons omringende materie uit zijn opgebouwd.

Het Tevatron is een ondergrondse ring met een omtrek van 4,5 kilometer. Protonen en antiprotonen reizen er met bijna de lichtsnelheid in tegengestelde richting rond. Door de (anti)protonen zo te sturen dat ze in het hart van de detector op elkaar botsen, kunnen natuurkundigen de samenstelling van materie op uiterst kleine schalen onderzoeken.

Het Tevatron bleek krachtig genoeg om de

zogenaamde  $\Sigma_b$ -deeltjes te produceren, die ook kort na de oerknal in het heelal moeten zijn voorgekomen. Het gaat om deeltjes die net als de gewone kerndeeltjes zijn opgebouwd uit drie quarks. Maar terwijl de protonen en neutronen uitsluitend 'doorsnee' up- en downquarks bevatten, is in de nieuwe deeltjes één zo'n quark vervangen door een veel zwaarder en minder regulier bottomquark.

Uit duizenden miljarden deeltjesbotsingen is het in Illinois uiteindelijk gelukt 103 positief geladen en 134 negatief geladen  $\Sigma_b$ -deeltjes te produceren. De deeltjes waren zeer instabiel, leefden slechts een fractie van een seconde en bleken beide ongeveer zes maal zo zwaar te zijn als een proton.

*Vrij naar: NRC, 28 oktober 2006*


In het artikel is informatie te vinden over de quarksamenstelling van de nieuw waargenomen deeltjes.

- 3p 1  Geef voor zowel het  $\Sigma_b^+$  als voor het  $\Sigma_b^-$  de quarksamenstelling. Leg je antwoord uit.

Het artikel geeft ook informatie over de massa van de  $\Sigma_b$ -deeltjes. In tabel 26 van Binas kun je zien dat baryonen een massa hebben die groter is dan de som van de massa's van de quarks, waaruit ze zijn samengesteld.

- 4p 2  Bereken voor een  $\Sigma_b$ -deeltje het verschil  $\Delta m$  tussen de massa van het deeltje en de som van de quarkmassa's. Druk het antwoord uit in de eenheid  $\text{GeV}/c^2$ .

De extra massa  $\Delta m$  komt overeen met met de energie van de quarks. Deze kan in redelijke benadering worden verklaard met het deeltje-in-een-doodsje-model.  $\Delta m$  komt dan overeen met de laagste kinetische energie, die de drie quarks in het doosje samen kunnen hebben.

Lees verder 

De grootte  $L$  van de doos geeft een schatting van de omvang van het  $\Sigma_b$ -deeltje. Het zijn hierbij de lichte up- en down-quarks die de omvang van het  $\Sigma_b$ -deeltje bepalen, omdat ze door hun kleine massa veel beweeglijker zijn dan het zware bottom-quark.

We nemen aan dat deze lichte quarks ieder een energie van  $5 \cdot 10^2 \text{ MeV}/c^2$  hebben.

Hun snelheid is dan zo hoog dat voor voor de energie in een doosje een relativistische formule moet worden gebruikt:

$$E_k = \frac{hc}{2L}$$

- 3p 3  Bereken welke afmeting een  $\Sigma_b$ -deeltje het volgens dit model heeft.

Het artikel vermeldt dat de protonen en antiprotonen met bijna de lichtsnelheid door de ring gaan. De 'normale' formule voor de kinetische energie ( $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ ) geldt niet bij dit soort snelheden. Hier geldt de relativistische formule, waarin zowel de rustmassa als de kinetische energie zijn meegerekend:

$$E = m_0 c^2 \cdot \gamma \quad \text{met} \quad \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$$

Hierin is:

$m_0$	de rustmassa van het deeltje
$c$	de lichtsnelheid
$v$	de snelheid van het deeltje.

De snelheid van de (anti)protonen blijkt 94% van de lichtsnelheid te moeten zijn om de zware  $\Sigma_b$ -deeltjes te kunnen produceren.

- 4p 4  Toon dit aan.

Aan het slot van het artikel staat dat de  $\Sigma_b$ -deeltjes instabiel zijn en snel vervallen.

Meestal vervalt het deeltje daarbij in een meson en een proton of een nucleon.

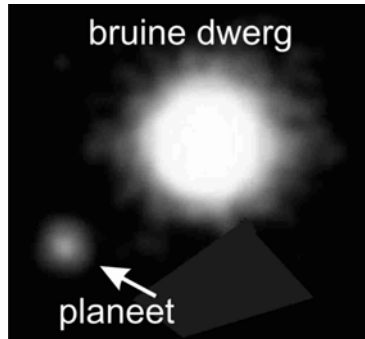
- 2p 5  Leg uit dat zo'n verval voldoet aan behoud van baryongetal.

- 2p 6  Geef een mogelijke reactievergelijking van zo'n verval voor een  $\Sigma_b$ -deeltje. Gebruik daarbij alleen deeltjes die in tabel 26 van Binas zijn vermeld.

## Opgave 2 Een bruine dwerg

figuur 1

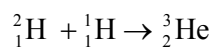
Infraroodfoto door het "European Southern Observatory" genomen in 2004



Figuur 1 is een foto van een ster met zijn planetaire begeleider. De ster is een zogenaamde 'bruine dwerg'. Dit is de eerste foto waarop een planeet buiten ons zonnestelsel te zien is. De planeet is zichtbaar onder andere doordat de ster zelf zo weinig licht geeft. Hij moest in het infrarood gefotografeerd worden. Zowel de ster als de planeet zenden namelijk vooral warmtestraling uit en weinig zichtbaar licht.

De bruine dwerg heeft een massa van slechts 25 jupitermassa's. Dit is 2,4% van de massa van onze zon.

Een bruine dwerg is te beschouwen als een mislukte ster. Hij wordt in zijn centrum niet heet genoeg voor de fusie van  ${}^1_1\text{H}$  tot  ${}^4_2\text{He}$  helium, zoals in onze zon. Wel kan hij enkele miljoenen jaren lang zijn inwendige temperatuur op peil houden door deuterium om te zetten in helium-3 volgens de volgende reactie:



In tegenstelling tot onze zon en andere gewone sterren produceert de bruine dwerg geen neutrino's.

3p 7  Leg uit dat de zon wél neutrino's produceert en een bruine dwerg niet.

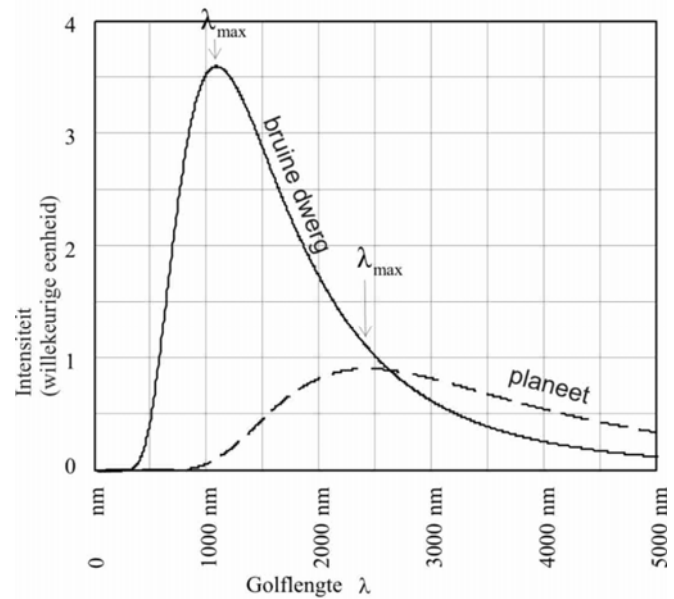
De bruine dwerg bestaat slechts voor ca. 0,02% (massaprocenten) uit deuterium.

4p 8  Bereken hoeveel Joule energie er in het bestaan van de dwerg vrij kan komen als al het deuterium fuseert tot helium.

---

Lees verder 

figuur 2



Hiernaast is een geïdealiseerde weergave van het spectrum van beide objecten. Van de planeet is alleen de eigen straling weergegeven, de teruggekaatste straling van de ster tegen de planeet is afgetrokken. De temperatuur van de objecten kan bepaald worden uit de plaats van het maximum in het spectrum (hiernaast aangegeven met  $\lambda_{\max}$ ). De energie van de fotonen in het maximum van het spectrum is evenredig met de oppervlaktetemperatuur van object.

Het oppervlak van de bruine dwerg heeft een temperatuur van 2700K.

Figuur 2 is ook vergroot weergegeven oip de uitwerkbijlage.

- 3p 9 □ Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de oppervlaktetemperatuur van de planeet. Gebruik daarbij de verhouding van de twee waarden van  $\lambda_{\max}$ .