

Examen VWO
2009

tijdvak 1
woensdag 20 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde 1,2 (Project Moderne Natuurkunde)

Bij dit examen hoort een bijlage en een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

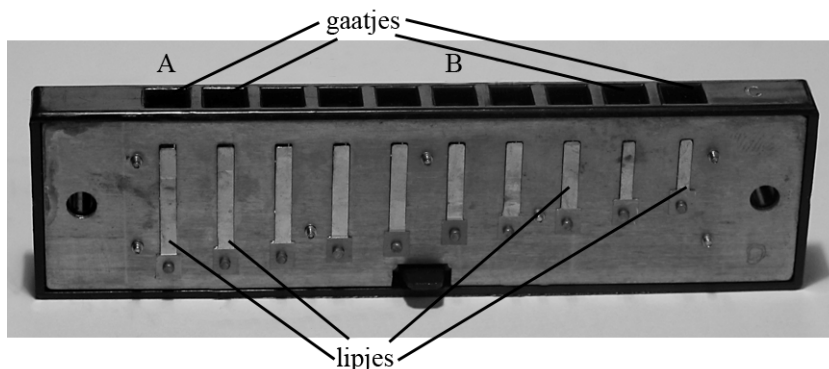
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.

Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Opgave 1 Mondharmonica

Van een mondharmonica is de beschermkap weggehaald. Zie figuur 1.

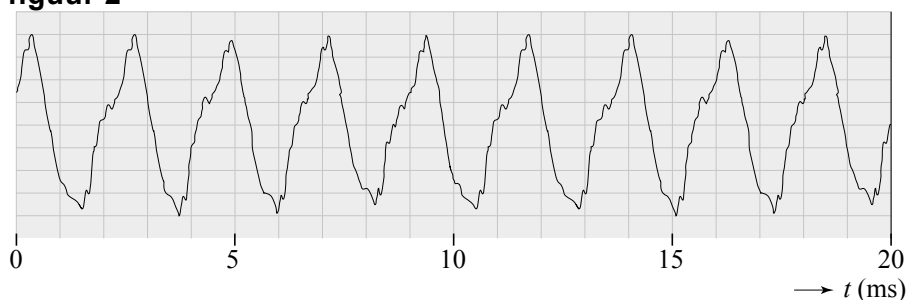
figuur 1



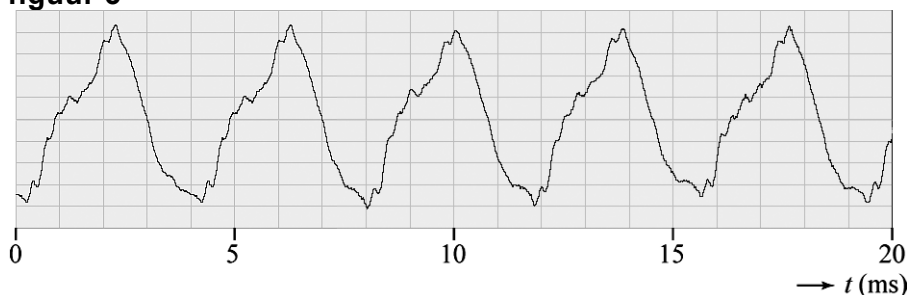
Deze mondharmonica heeft tien gaatjes. Onder elk gaatje zit een metalen lipje. Als een speler lucht door een gaatje blaast, ontstaat in het lipje onder dat gaatje een staande golf. Het lipje trilt dan in de grondtoon. De lipjes onder de gaatjes A en B zijn even dik en even breed.

Met behulp van een microfoon en een computer zijn twee opnames gemaakt van het geluid, een bij het blazen in gat A en een bij het blazen in gat B. In figuur 2 en 3 zie je het resultaat van de opnames. Elke opname duurde 20 ms.

figuur 2



figuur 3



3p 1 Leg uit welke van deze figuren correspondeert met gat A.

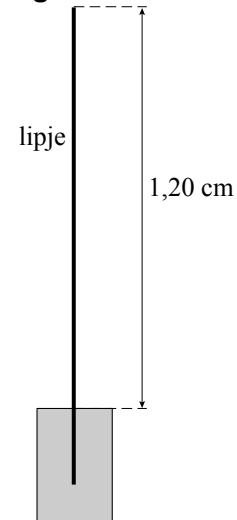
- 3p **2** Bepaal welke toon in figuur 2 weergegeven is. Gebruik tabel 15C van Binas. Geef je antwoord met een letter en een cijfer zoals dat voorkomt in tabel 15C.

Een lipje is een dun koperen stripje dat aan één kant is vastgemaakt. Het andere uiteinde kan vrij trillen. Een zijaanzicht van een lipje zie je in figuur 4.

Als het lipje van figuur 4 in de grondtoon trilt, ontstaat een toon van 392 Hz.

- 3p **3** Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in het lipje.

figuur 4



Naast de grondtoon gaat het lipje (zeker bij hard blazen) ook trillen in de eerste boventoon. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 2p **4** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de plaatsen aan van de buiken en de knopen in het lipje als het trilt in de eerste boventoon.

Opgave 2 Legionella

Lees het onderstaande krantenartikel.

Stilstaand, lauwwater tussen 25 en 55 °C is een broedplaats voor legionellabacteriën. Om te voorkomen dat deze bacteriën zich in waterleidingen van warm water vermeerderen en verspreiden, moet het water regelmatig tot ruim boven

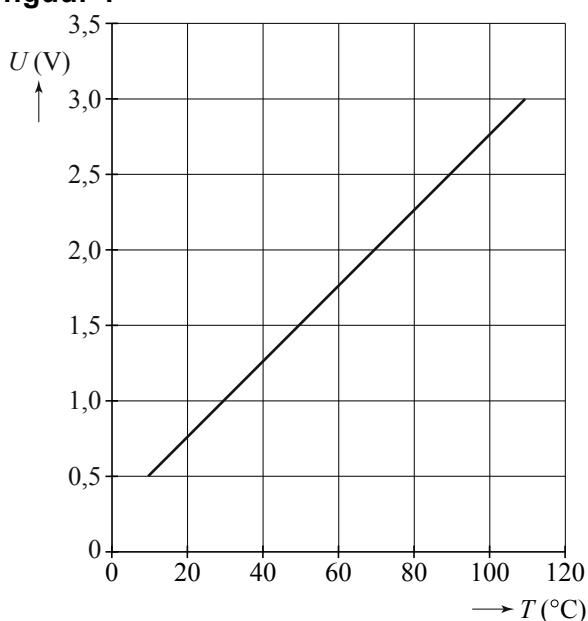
60 °C verwarmd worden.

Om veiligheidsredenen mag het water niet boven de 92 °C komen.

Voor het verwarmen is een elektrisch verwarmingslint met bijbehorend automatisch systeem op de markt.

De temperatuur van het water wordt gemeten met een temperatuursensor, waarvan de ijkgrafiek gegeven is in figuur 1.

figuur 1



Het automatisch systeem heeft als uitvoer (actuator) een relais dat het elektrisch verwarmingslint kan in- en uitschakelen.

Het automatisch systeem moet voldoen aan de volgende eisen.

Het verwarmingslint wordt:

- *ingeschakeld* als de temperatuur lager is dan 60 °C,
- *uitgeschakeld* als:
 - de temperatuur langer dan tien minuten achtereen hoger is dan 60 °C, óf
 - de temperatuur eenmalig hoger is dan 92 °C.

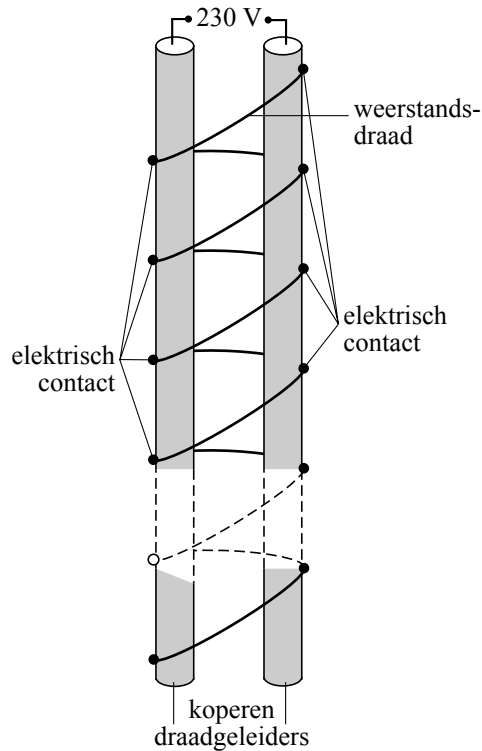
De tijd wordt geregeld door een pulsgenerator die één puls per minuut afgeeft.

Op de uitwerkbijlage staat een deel van een ontwerp van dit automatisch systeem.

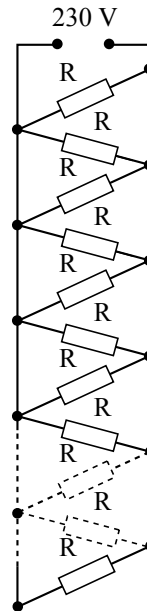
- 6p **5** Maak in de figuur op de uitwerkbijlage het ontwerp compleet zodat het aan de gestelde eisen voldoet. Geef ook de referentiespanningen van de beide comparatoren aan.

Het verwarmingslint bestaat uit twee koperen draadgeleiders. Tussen deze geleiders staat de netspanning van 230 V. Om de draadgeleiders is weerstandsdraad gewikkeld. Zie figuur 2. Deze weerstandsdraad maakt steeds elektrisch contact met beide draadgeleiders. Hierdoor ontstaat een parallelschakeling zoals schematisch weergegeven in figuur 3.

figuur 2



figuur 3



Zo ontstaan n parallelle weerstanden per meter verwarmingslint, elk met een waarde $R = 10 \text{ k}\Omega$.

Het verwarmingslint heeft per meter een vermogen van 180 W.

- 4p **6** Bereken het aantal parallelle weerstanden n in 1,00 m verwarmingslint.
Hint: Bereken daartoe eerst de stroom door 1,00 m verwarmingslint en daarna de stroom die door één weerstand loopt.

Het verwarmingslint is leverbaar in verschillende lengtes.

- 3p **7** Bereken hoe lang het verwarmingslint maximaal mag zijn als de gebruikte groep een smeltveiligheid van 16 A heeft.

Opgave 3 Ariane-5-raket

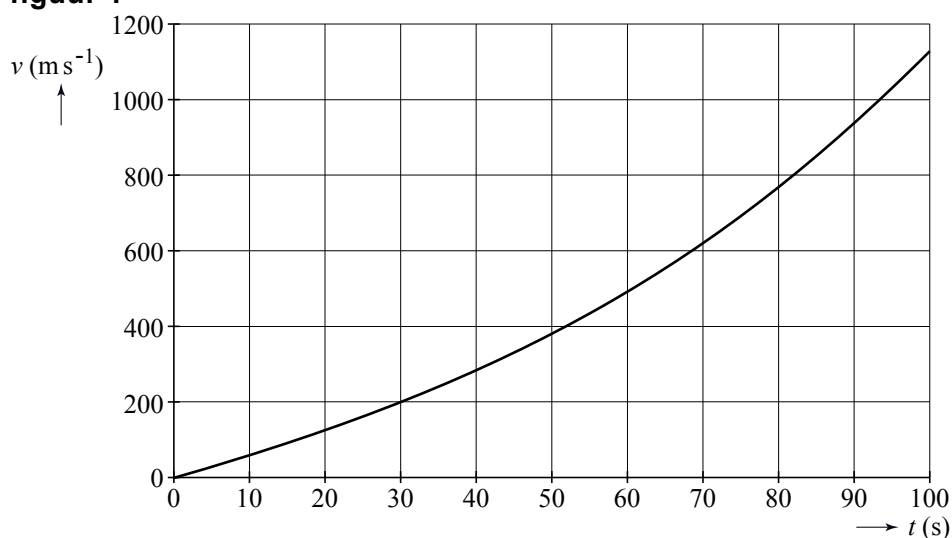
De Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft al enkele malen een Ariane-5-raket gelanceerd.

Door het uitstoten van verbrandingsgassen wordt de raket voortgestuwd.

2p 8 Leg dit uit met een natuurkundige wet.

De beweging tijdens de start van de Ariane-5-raket wordt onderzocht aan de hand van een video-opname. Van de eerste honderd seconde is een (v, t) -grafiek gemaakt en weergegeven in figuur 1. Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 1



De totale massa van de Ariane-5-raket bij de start is $7,14 \cdot 10^5$ kg.

5p 9 Bepaal aan de hand van de figuur op de uitwerkbijlage de stuwkracht F_{stuw} die de Ariane-5-raket ondervindt op $t = 0$ s.

Elke seconde wordt er $3,6 \cdot 10^3$ kg brandstof uitgestoten met een snelheid u van $3,0 \text{ km s}^{-1}$. De ESA gebruikt voor de snelheid $v(t)$ van de raket de formule:

$$v(t) = u \cdot \ln\left(\frac{m(0)}{m(t)}\right) - gt$$

Hierin is:

- $m(0)$ de totale massa bij de start in kg;
- $m(t)$ de totale massa op tijdstip t in kg;
- g de valversnelling op het aardoppervlak in ms^{-2} .

3p 10 Laat aan de hand van een berekening zien dat deze formule een goede benadering van de snelheid op $t = 60$ s geeft.

Voor grotere hoogten geldt voor de gravitatiekracht de formule:

$$F_g = mg \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

Hierin is:

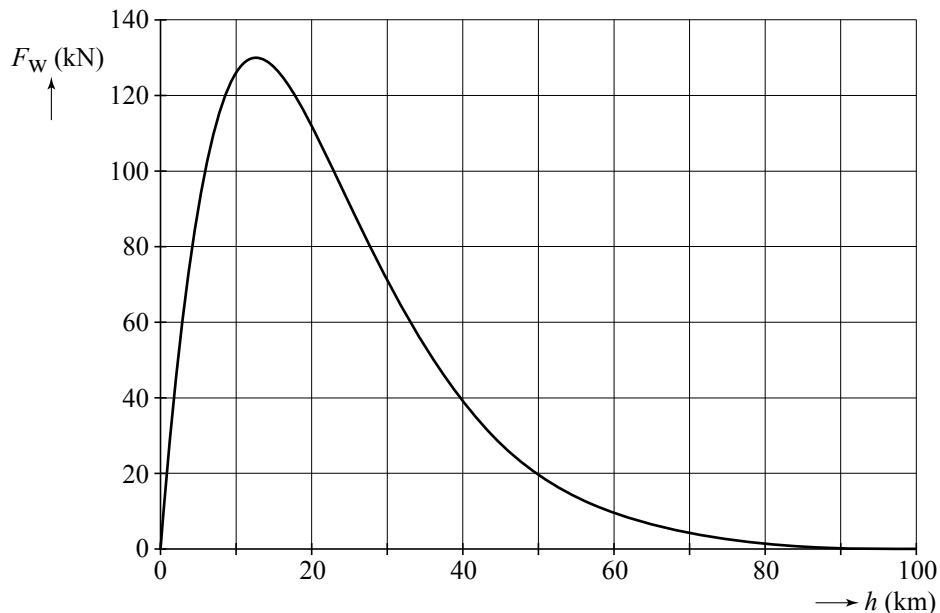
- R de straal van de aarde in m;
- h de hoogte boven de aarde in m;
- g de valversnelling op het aardoppervlak in ms^{-2} .

3p 11 Leid deze formule af.

Bij de beweging van de Ariane-5-raket speelt de wrijvingskracht op de Ariane-5-raket ook een rol.

In figuur 2 is het verloop van de wrijvingskracht F_w tegen de hoogte h weergegeven.

figuur 2



2p 12 Leg uit waarom F_w eerst toeneemt en dan weer afneemt.

De voortstuwingskracht F_{stuw} die op de Ariane-5-raket werkt is constant.

De versnelling van de Ariane-5-raket blijkt niet constant te zijn.

Voor deze versnelling geldt: $a = \frac{F_{\text{stuw}} - F_g - F_w}{m}$.

4p 13 Leg uit of de versnelling op 100 km hoogte groter of kleiner is dan op 40 km.

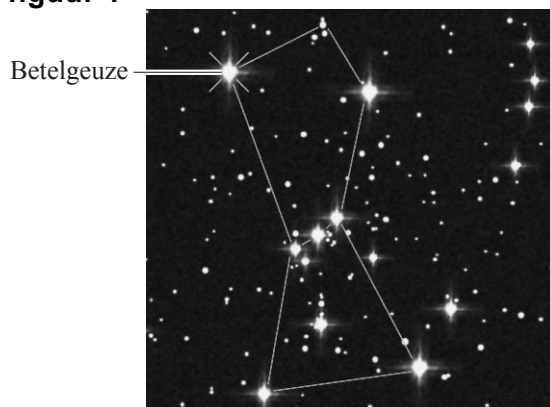
Opgave 4 Betelgeuze

Gegevens over de zon, andere sterren en planeten zijn te vinden in de tabellen 31, 32B en 32C van het informatieboek Binas.

De ster Betelgeuze in het sterrenbeeld Orion is een zogenaamde rode superreus. Zie figuur 1.

Een rode superreus dankt zijn naam aan de kleur licht die hij uitzendt en aan zijn enorme omvang.

figuur 1

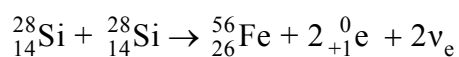


Stel je voor dat het middelpunt van Betelgeuze zich op de plaats van de zon zou bevinden.

- 2p **14** Ga na welke planetenbanen dan geheel binnen de omvang van Betelgeuze zouden vallen.

Als in een ster de voorraad waterstof is verbruikt, kunnen fusiereacties optreden tussen zwaardere elementen. In zeer zware sterren kunnen zelfs twee silicium-28-kernen fuseren tot één ijzer-56-kern.

Hierbij hoort de volgende kernreactievergelijking:



- 4p **15** Bereken hoeveel energie er bij één zo'n fusiereactie vrijkomt. Verwaarloos hierbij de massa van de neutrino's.

Elk van de twee neutrino's wordt gevormd in een deelreactie waarbij een subatomair deeltje wordt omgezet in een ander subatomair deeltje.

- 3p **16** Geef het reactiediagram van deze deelreactie.

Voor het vermogen dat een ster uitstraalt in de vorm van stralingsenergie geldt:

$$P = cr^2T^4$$

Hierin is:

- c een constante;
- r de straal van de ster in m;
- T de temperatuur van de ster in K.

Uit waarnemingen blijkt dat er voor de meeste sterren ook een verband bestaat tussen het vermogen P_{ster} dat de ster uitstraalt en de massa M_{ster} van de ster. Ten opzichte van de zon geldt de volgende relatie:

$$\frac{P_{\text{ster}}}{P_{\text{zon}}} = \left(\frac{M_{\text{ster}}}{M_{\text{zon}}} \right)^{\frac{7}{2}}$$

Als de massa van een ster groter is dan 10 maal de massa van de zon, zal de ster aan het eind van haar leven ontploffen als een zogenaamde supernova.

- 4p **17** Ga door middel van een berekening na of Betelgeuze zal ontploffen als een supernova.

Op 29 maart 2003 werd aan de hemel een zeer bijzonder verschijnsel waargenomen: een gammaflits. Deze werd veroorzaakt doordat zeer ver weg een zeer zware ster die aan het eind van haar leven was, ontplofte.

Bij een gammaflits zendt de ster per seconde evenveel energie uit als de zon in tien miljard jaar, voornamelijk in de vorm van gammastraling.

Als Betelgeuze aan het eind van haar leven een gammaflits met hetzelfde vermogen produceert, ontvangt de aarde een zeer grote stralingsintensiteit.

De stralingsintensiteit die de aarde *van de zon* ontvangt, bedraagt $1,4 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$.

- 4p **18** Bereken de stralingsintensiteit van de gammaflits van Betelgeuze die de aarde zou bereiken in verhouding tot de stralingsintensiteit van de zon op aarde.

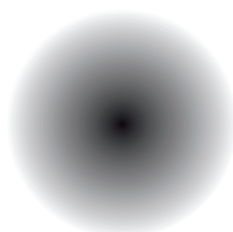
Opgave 5 Elektronenwolken

Canadese onderzoekers hebben in 2007 een methode gevonden om met laserlicht elektronenwolken van moleculen zichtbaar te maken. Zij willen deze methode gebruiken om meer inzicht te krijgen in chemische bindingen.

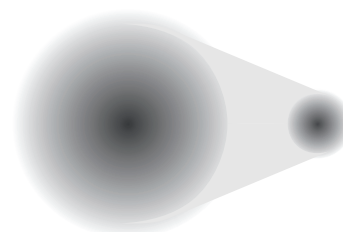
De methode maakt gebruik van het elektromagnetisch veld van het laserlicht. Het elektrisch veld is zo sterk dat het in staat is om een elektron gedurende korte tijd een stukje van het molecuul af te trekken. Wanneer even later het veld weer 0 wordt en het elektron weer terug gaat naar de oorspronkelijke toestand, komt daarbij röntgenstraling vrij. Uit het spectrum van deze röntgenstraling kan de oorspronkelijke toestand van de elektronenwolk worden berekend.

Figuur 1 is een computersimulatie van het experiment en geeft het kansplaatje van de elektronenwolk van een molecuul weer. Hoe donkerder, des te groter de kans een elektron aan te treffen. Figuur 1a geeft de situatie weer op een moment dat het elektrisch veld van het laserlicht 0 is. Figuur 1b geeft de elektronenwolk weer bij de eerstvolgende maximale waarde van het elektrisch veld.

figuur 1a



figuur 1b



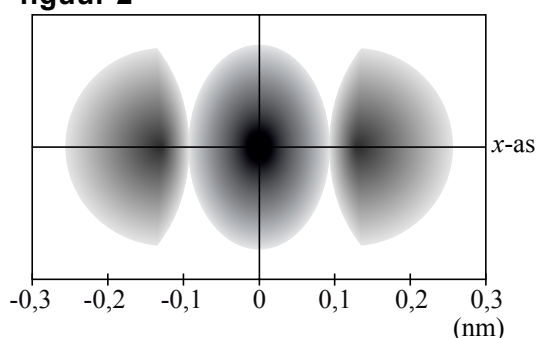
- 2p **19** Leg uit of het elektrisch veld van het laserlicht in figuur 1b naar links of naar rechts is gericht.

De golflengte van het gebruikte laserlicht is 750 nm.

- 3p **20** Bereken de tijdsduur tussen de situaties van figuur 1a en figuur 1b.

De onderzoekers hebben hun lasermethode toegepast op het stikstofmolecuul N_2 . In figuur 2 is het resultaat van hun experiment gegeven. Figuur 2 is een dwarsdoorsnede van het kansplaatje van de gemeenschappelijke elektronenwolk gevormd door de buitenste twee elektronen van het molecuul. Weer geldt: hoe donkerder des te groter is de kans een elektron aan te treffen. De driedimensionale weergave van deze elektronenwolk wordt verkregen door figuur 2 te roteren om de x -as.

figuur 2



Op de uitwerkbijlage is een assenstelsel gegeven waarin de golf functie Ψ van een buitenste elektron van N_2 langs de x -as kan worden geschetst.

- 3p **21** Schets deze golf functie in het assenstelsel op de uitwerkbijlage.

De bindingsenergie van de elektronenwolk in figuur 2 is de energie die vrijkomt wanneer een buitenste elektron van een los stikstofatoom samen met het buitenste elektron van een ander los stikstofatoom in de elektronenwolk van het gevormde N_2 -molecuul gaat zitten.

We gebruiken het deeltje-in-een-doos-model om de orde van grootte van deze bindingsenergie te bepalen. Hierbij benaderen we de twee losse stikstofatomen elk door een kubusvormig doosje met ribbe L en de elektronenwolk van N_2 door een balkvormig doosje met lengte $2L$ dat uit de twee kubusvormige doosjes is samengesteld.

De buitenste elektronen zijn de elektronen in het hoogst bezette energieniveau. Bij een los stikstofatoom hebben deze elektronen volgens het driedimensionale deeltje-in-een-doos-model een energie gelijk aan:

$$E = \frac{3h^2}{4mL^2}$$

Hierin is:

- h de constante van Planck;
- m de massa van een elektron;
- L de ribbe van het kubusvormige doosje.

4p **22** Toon dit aan. Bepaal hiertoe eerst de verdeling van de 7 elektronen van het stikstofatoom over de energietoestanden (n_x, n_y, n_z) van het kubusvormige doosje.

Uit figuur 2 volgt in welke energietoestand (n_x, n_y, n_z) van het balkvormige doosje de twee elektronen van de elektronenwolk in het molecuul N_2 zitten.

2p **23** Leg uit dat dit de energietoestand $(3, 1, 1)$ is.

Met behulp van figuur 2 kan een goede schatting voor L gevonden worden. Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

4p **24** Bepaal de orde van grootte van de bindingsenergie van de elektronenwolk in figuur 2.