

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.

# Bekken

examen 2004-I-4 (niet pilot)

Een drumstel bestaat onder andere uit trommels en bekkens. Een bekken is een ronde metalen schijf die in het midden M op een standaard is geklemd.

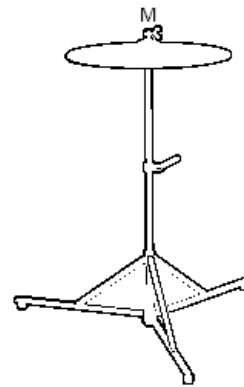
Zie figuur 8.

Ruud onderzoekt het geluid dat een bekken produceert als hij er zachtjes met een wollige paukenstok op slaat.

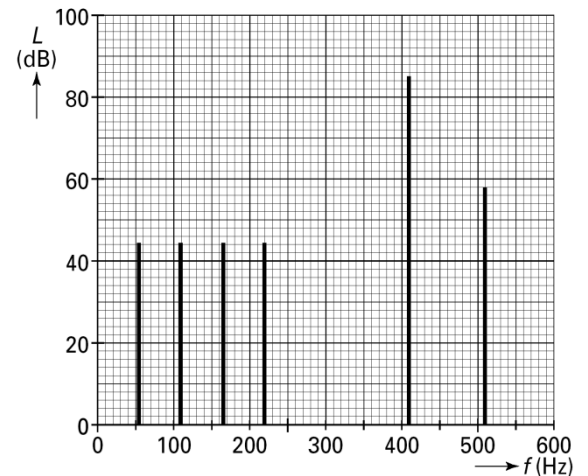
Op enige afstand van het bekken zet hij een microfoon neer die hij verbindt met een computer. De computer analyseert het ontvangen signaal en maakt een grafiek van het geluidsniveau als functie van de ontvangen frequenties.

Zie figuur 9.

figuur 8

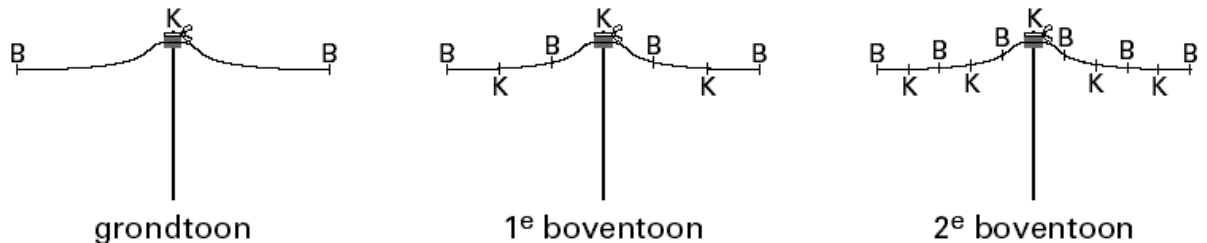


figuur 9



Ruud zoekt een verklaring voor de frequentieverhouding van de laagste vier tonen van figuur 9. In een boek over muziekinstrumenten vindt hij het plaatje van figuur 10 met enkele trillingstoestanden van een bekken. De plaatsen van de knopen van de staande golven in het bekken zijn aangegeven met een letter K; de plaatsen van de buiken met een B.

figuur 10



3p 16  Toon aan dat de patronen van knopen en buiken in figuur 10 niet overeenstemmen met de verhoudingen van de frequenties van de drie laagste tonen van figuur 9.

De toon van 410 Hz is veel sterker dan de andere tonen. De amplitude van de andere tonen is daarom te verwaarlozen.

Ruud bekijkt de rand van het trillende bekken met een stroboscoop. Hij stelt de frequentie van de stroboscoop in op 820 Hz. Hij neemt dan twee standen van de rand van het bekken waar. De 'twee randen' lijken stil te staan. Stelt hij de frequentie iets hoger in, dan ziet hij de twee randen langzaam bewegen.

3p 17  Geef voor beide waarnemingen een verklaring.

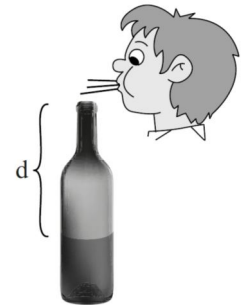
Tijdens het 'langzaam bewegen' ziet Ruud de twee randen steeds naar elkaar toe gaan en weer uit elkaar gaan. Om het moment dat de twee randen het verst van elkaar zijn verwijderd, bevinden ze zich 2,7 mm uit elkaar.

3p 18  Bereken de werkelijke snelheid waarmee de rand van het bekken door de evenwichtsstand gaat.

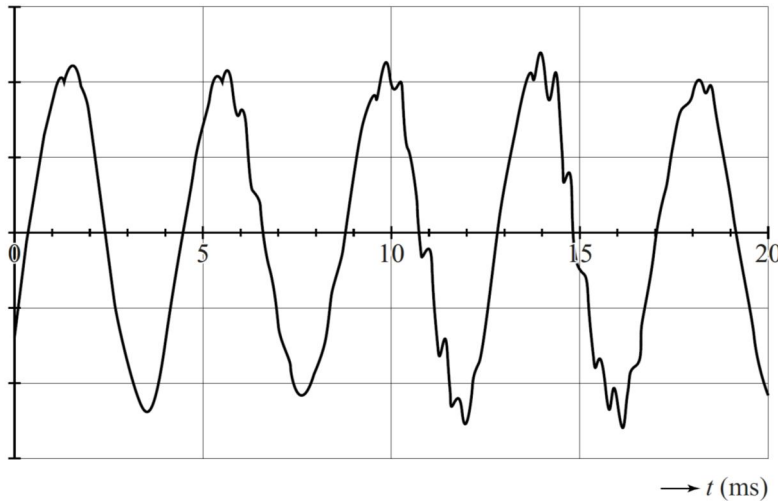
Chiara en Michel doen onderzoek aan geluid uit een fles. Zij blazen lucht over de hals van een fles en horen geluid. De fles is gevuld met water tot een afstand  $d$  onder de flesopening. Zie figuur 1.

Bij kamertemperatuur meten zij het geluid met een geluidssensor. Bij een afstand  $d = 13,0$  cm vinden zij de grafiek van figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Uit figuur 2 volgt dat de grondfrequentie van het geluid  $2,4 \cdot 10^2$  Hz is.

2p **1** Toon dat aan.

Michel denkt dat dit geluid ontstaat doordat er in de fles een staande golf ontstaat met een knoop bij het wateroppervlak en een buik bij de flesopening. Met deze gegevens berekent Michel de geluidssnelheid en vindt een uitkomst die niet overeenkomt met de waarde in BiNaS.

3p **2** Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat de berekende geluidssnelheid niet overeenkomt met die in BiNaS.
- Toon aan dat de gemeten frequentie geen boventoon kan zijn.

Chiara en Michel gaan op zoek naar een andere verklaring. Bij een excursie in het Teylers Museum zien zij een set helmholtz-resonatoren uit de 19e eeuw. Deze werden gebruikt om te analyseren welke toonhoogtes in een stem voorkwamen. Zie figuur 3.

figuur 3



Eenmaal thuisgekomen vinden ze op internet een site over helmholtz-resonatoren en vinden de formule:

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{Vl}}$$

Hierin is:

- $v$  de geluidssnelheid in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- $A$  het oppervlak van de resonatoropening in  $\text{m}^2$
- $V$  het volume van de lucht in de resonator in  $\text{m}^3$
- $l$  de lengte van de hals van de resonator in  $\text{m}$ .

1p **3** Beschrijf een methode om het volume van de lucht in de fles te meten.

Chiara en Michel gaan deze formule op de fles toepassen.

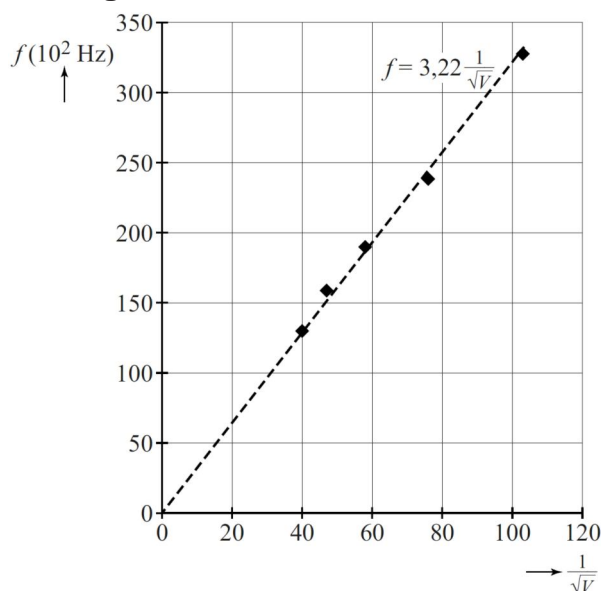
Voor hun fles meten ze:  $A = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  en  $l = 0,070 \text{ m}$ .

Verder meten ze de frequentie als functie van het volume. Zie tabel 1.

**tabel 1**

$V$ ( $10^{-6} \text{ m}^3$ )	$f$ ( $10^2 \text{ Hz}$ )
94	3,3
172	2,4
298	1,9
448	1,6
630	1,3

**figuur 4**



Ze laten een rekenprogramma op de computer een coördinaat-transformatie toepassen. Daarna laten ze het programma een lijn (trendlijn) door de punten tekenen en de functie van die lijn bepalen. Zie figuur 4. De eenheid langs de horizontale as staat niet vermeld.

2p **4** Leg uit wat de eenheid langs de horizontale as moet zijn.

4p **5** Voer de volgende opdrachten uit:

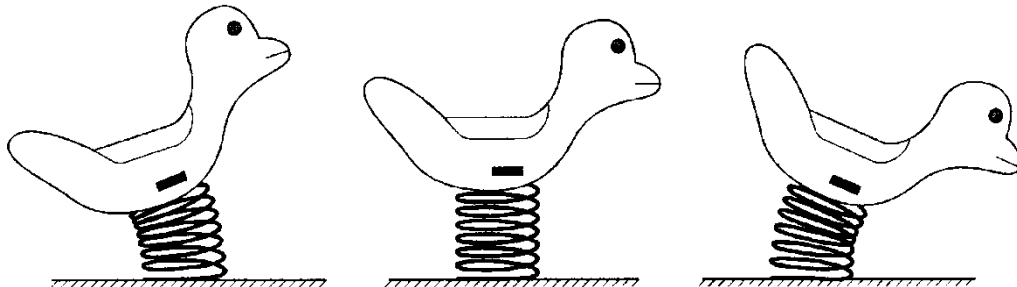
- Geef de reden dat de lijn door de oorsprong moet gaan.
- Bereken de geluidssnelheid met behulp van de gegeven functie.
- Leg uit of Chiara en Michel mogen concluderen dat hun proef beschreven mag worden met de formule van Helmholtz.

Je ziet dat de frequentie-metingen zijn gegeven in 2 significante cijfers, maar dat de helling van de getekende lijn gegeven is in 3 significante cijfers.

1p **6** Geef de reden dat hierbij het aantal significante cijfers toeneemt.

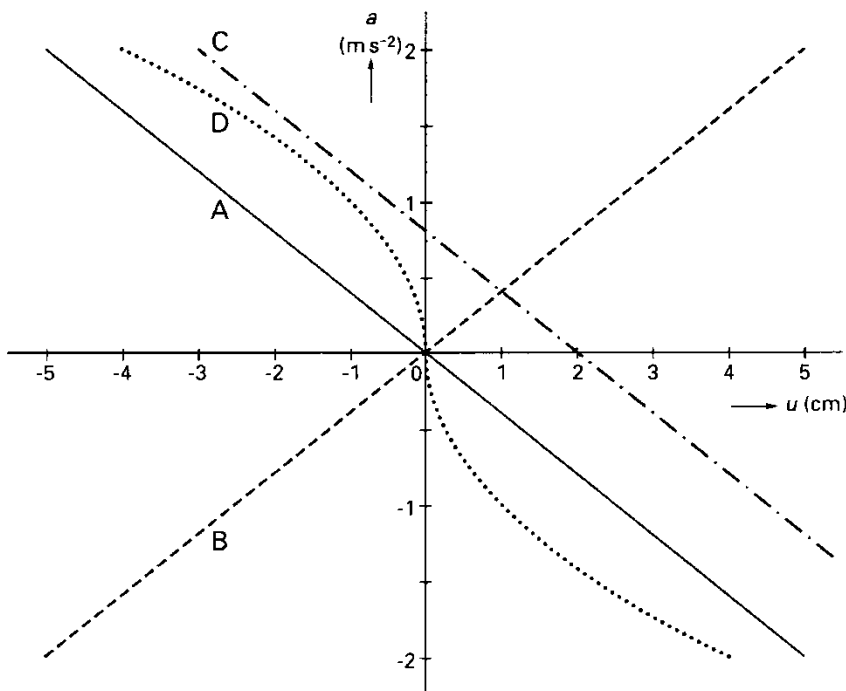
In stadsparken tref je vaak 'schommelbeesten' aan. Schommelbeesten zijn 'beestachtige' constructies die op een stugge veer in de grond bevestigd zijn. Kinderen kunnen hier leuk op schommelen. Zo'n schommelbeest wordt een eindje uit zijn evenwichtsstand getrokken en vervolgens losgelaten. Zie figuur 1.

figuur 1



Van de beweging van het zwaartepunt is een  $(u, t)$ -diagram geregistreerd met behulp van een plaatsensor. Vervolgens is aan de hand van dit diagram de versnelling bepaald voor verschillende waarden van de uitwijking van het zwaartepunt. De beweging blijkt een harmonische trilling te zijn. In figuur 2 is in grafiek A de versnelling  $a$  uitgezet tegen de uitwijking  $u$ .

figuur 2



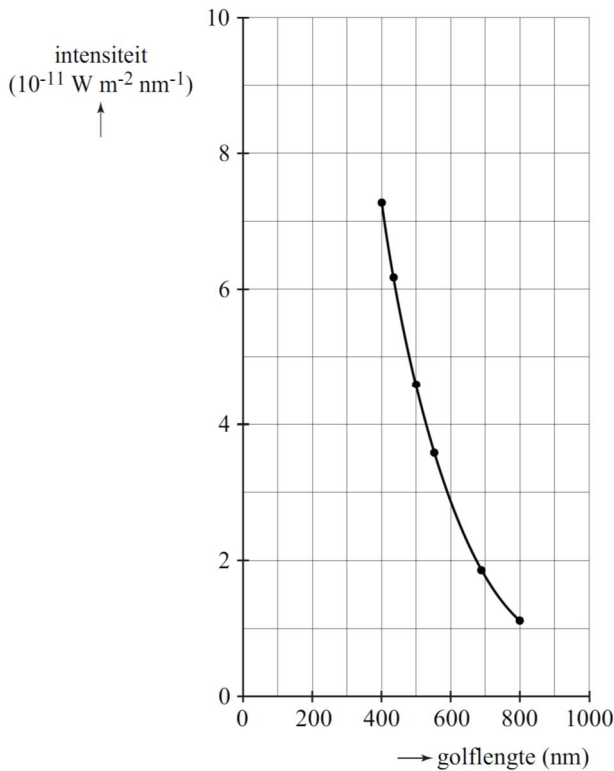
De grafieken B, C en D kunnen geen betrekking hebben op een harmonische trilling.

4p **7**  Geef een kenmerk van een harmonische trilling en leg met behulp van dat kenmerk uit waarom ieder van de grafieken B, C en D *niet* bij een harmonische trilling horen.

Grafiek A is ook op de bijlage weergegeven.

3p **8**  Bepaal de schommelfrequentie met behulp van de figuur op de bijlage in twee significante cijfers. (Hint: leid eerst een relatie af tussen  $a(t)$ ,  $u(t)$  en  $f$  voor een harmonische trilling.)

Wega is een heldere ster in het sterrenbeeld Lyra (Lier). Op grond van een analyse van de straling van Wega kunnen eigenschappen van de ster bepaald worden, zoals de temperatuur en het uitgestraald vermogen. Hiervoor heeft men op aarde heel nauwkeurig de ontvangen stralingsintensiteit (per golflengtegebied van 1 nm) in het zichtbare gebied als functie van de golflengte bepaald. In figuur 1 staan de resultaten.

**figuur 1**

Hieruit kan worden afgeleid dat de temperatuur van Wega hoger is dan 7000 K.

3p **1** Laat dat zien.

Met behulp van figuur 1 kan de grootte van de stralingsintensiteit in het gebied van het zichtbare licht geschat worden.

Men heeft ook de totale stralingsintensiteit van Wega gemeten die per seconde bij de aarde aankomt. Over het gehele spectrum gemeten is dit  $2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}$ .

Een percentage hiervan ligt in het zichtbare gebied.

4p **2** Bepaal dit percentage.

Het uitgestraald vermogen van Wega is groter dan het uitgestraald vermogen van de zon.

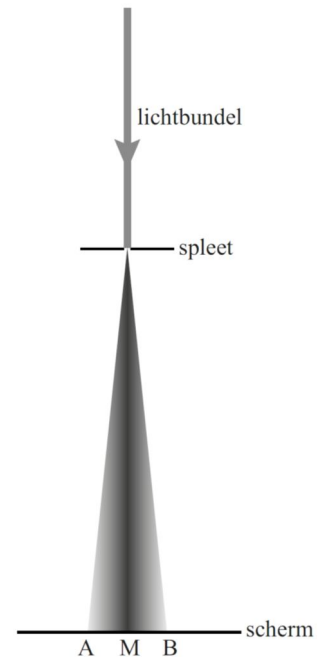
4p **3** Bereken hoeveel maal zo groot. Je hoeft geen rekening te houden met absorptie in de atmosfeer.

Een evenwijdige lichtbundel die door een nauwe spleet gaat, komt er divergent uit. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. Deze figuur is niet op schaal. Dit verschijnsel wordt buiging genoemd.

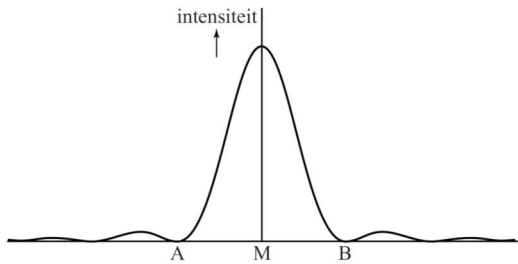
Op het scherm achter de spleet is tussen de punten A en B een lichtvlek te zien in plaats van één stip alleen in punt M. Links van A en rechts van B komt ook nog een klein beetje licht.

Figuur 2 laat zien hoe de lichtintensiteit op het scherm verloopt.

figuur 1



figuur 2



3p **21** Leg uit waarom in de punten A en B de lichtintensiteit nul is. Gebruik hierbij het begrip interferentie.

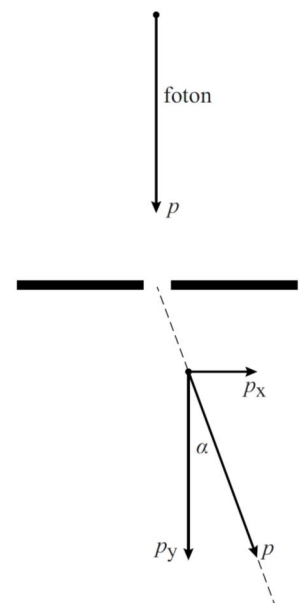
Een lichtbundel bestaat uit fotonen.

De fotonen die door de spleet gaan, hebben na de spleet niet allemaal dezelfde richting. In figuur 3 is weergegeven hoe een foton na de spleet onder een hoek  $\alpha$  naar het scherm gaat.

De impuls  $p$  van het foton is niet van grootte veranderd, maar wel van richting.

Figuur 3 is niet op schaal.

figuur 3



Voor de golflengte van het licht geldt:

$\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ; voor de horizontale component van de impuls van dit foton na de spleet geldt:  $p_x = 1,33 \cdot 10^{-29} \text{ kg m}^{-1}$ .

3p **22** Bereken de grootte van hoek  $\alpha$ .

De meeste fotonen komen ergens tussen de punten A en B op het scherm, afhankelijk van de grootte en richting van de component  $p_x$  die het foton heeft gekregen bij het passeren van de spleet.

Als de in figuur 3 getekende lichtstraal net links van punt B uitkomt, mag de gegeven waarde van  $p_x$  beschouwd worden als de onbepaaldheid  $\Delta p$  zoals die voorkomt in de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.

4p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de minimale waarde van  $\Delta x$  in dit geval volgens de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.
- Geef aan of deze waarde van  $\Delta x$  betrekking heeft op de breedte van de spleet of op de afstand AB op het scherm.
- Leg uit wat er met de afstand AB gebeurt als de spleetbreedte kleiner wordt en de afstand van de spleet tot het scherm gelijk blijft.

## Overig

examen ??

---

Er zijn nog maar betrekkelijk weinig examenopgaven over quantum fysica en EM-straling. Zie eventueel ook de uitgereikte samenvatting "Quantumvragen 2016" (ook op itslearning).

Hieronder daarom een aantal voorbeeldopgaven uit de syllabus.

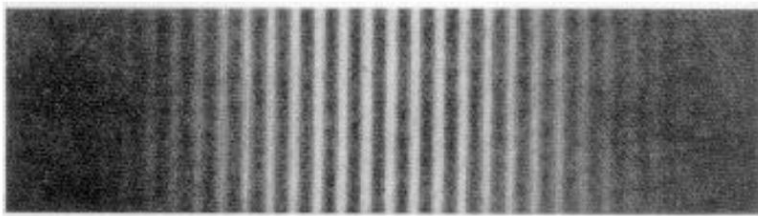
## Proef van Young

voorbeeldopgaven syllabus 2016-16

---

Figuur 1 laat het interferentiepatroon zien dat ontstaat bij de buiging van licht aan twee dunne evenwijdige spleten. Young voerde deze proef voor het eerst uit.

**figuur 1**



- 33 Maak een schematische schets van de opstelling die tot figuur 1 heeft geleid
- 34 Leg uit waarom dit patroon een argument is voor het idee dat licht golfeigenschappen heeft.
- 35 Het dubbelspleet-experiment kan ook gedaan worden met elektronen. Leg het verband uit tussen dat experiment en de de Broglie-golflengte.



Quantumverschijnselen kunnen voorkomen als deeltjes opgesloten zijn in een beperkte ruimte. In deze opgave bekijken we naar verschillende manieren waarop deeltjes opgesloten kunnen zijn. In een atoom geldt voor zowel de kerndeeltjes (neutronen en protonen) als voor de elektronen dat ze zich bevinden in een ruimte die een 'karakteristieke' grootte heeft. Met het model van het deeltje in een energie-put zijn er schattingen te maken over deze 'karakteristieke' groottes.

De grootte van een atoom wordt bepaald door de baan van het (buitenste) elektron om de kern. Om iets over de grootte van het atoom te weten te komen, kijken we naar het licht dat een atoom uitzendt. De energie van het licht dat hoort bij de overgang van de eerste aangeslagen toestand naar de grondtoestand ligt voor een waterstofatoom in de orde van grootte van 10 eV.

- 36** Bereken met behulp van het model van een deeltje in een energie-put de grootte van een waterstofatoom.

Om de grootte van de kern te kunnen schatten, moeten we kijken naar straling die afkomstig is uit de kern van een atoom. We gebruiken als voorbeeld de  $\gamma$ -straling die het aangeslagen kern van technetium-99 uitzendt.

De energie van de uitgezonden fotonen is 140 keV. We nemen aan dat het uitzenden van het foton wordt veroorzaakt doordat er een kerndeeltje van de eerste aangeslagen toestand terugvalt naar de grondtoestand.

- 37** Schat de orde van grootte van de atoomkern van Tc-99. Maak daartoe een vergelijking met de orde van grootte van de grootheden uit de vorige vraag.

In moleculen wordt een elektron "gedeeld" door verschillende atomen. Dit betekent dat de ruimte waarin het elektron zit opgesloten effectief groter wordt. Als voorbeeld kijken we naar een molecuul  $\text{CO}_2$ .

- 38** Doe op grond van die constatering een uitspraak over de orde van grootte van de golflengtes die je verwacht als een aangeslagen koolstofdioxide-molecuul licht uitzendt.

Metalen hebben vrije (geleidings-)elektronen. Die elektronen zijn dan niet meer aan één atoom gebonden, maar bewegen vrij door het hele metaal. De snelheid van deze elektronen is in de orde van grootte van  $10^3 \text{ m s}^{-1}$ .

- 39** Maak met berekening duidelijk dat er bij een spijker geen quantumverschijnselen optreden.

- 40** Hoe is dit aan het uitgezonden spectrum van een gloeiende spijker te zien?

Succes !!



## uitwerkbijlage

Naam kandidaat \_\_\_\_\_ Kandidaatnummer \_\_\_\_\_

1999-1-vraag 8

