CENTRALE COMMISSIE VOORTENTAMEN NATUURKUNDE

TENTAMEN NATUURKUNDE

datum	: vrijdag 21 juli 2023
tijd	: 12.30 tot 15.30 uur
aantal opgaven	: 5
aantal antwoordbladen	: 2 (bij opgave 2 en opgave 3)

Iedere opgave dient op een afzonderlijk vel te worden gemaakt
(want voor iedere opgave is er een afzonderlijke corrector).

Vermeld op ieder in te leveren vel uw naam.

Niet met potlood schrijven en geen tipp-ex of iets dergelijks gebruiken.

Antwoorden zonder motivering worden niet gehonoreerd.

Aanvullende gegevens zijn te vinden in Binas (5^{e} of 6^{e} druk).

De norm bij de beoordeling is:

opgave 1	: 16 punten
opgave 2	: 17 punten
opgave 3	: 22 punten
opgave 4	: 15 punten
opgave 5	: 10 punten

Het cijfer = aantal behaalde punten / 80 * 9 + 1

Informatie over de voortgang en het verloop van de correctie op www.ccvx.nl

OPGAVE 1 - kogel in goot

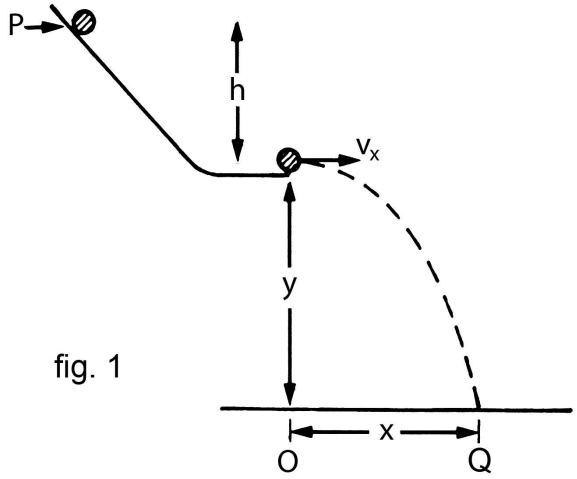


fig. 1

In een zeer gladde goot glijdt vanaf punt P een kogel zonder beginsnelheid naar beneden.
Het uiteinde van de goot is horizontaal, een eind boven de grond. Na het verlaten van de goot beschrijft de kogel een baan naar een punt Q op de grond. Zie figuur 1.

Op de grond ligt een schaalverdeling. Het nulpunt O van die schaalverdeling ligt verticaal onder het uiteinde van de goot. De afstand OQ wordt x genoemd.

Het hoogteverschil h tussen P en het punt waar de kogel de goot verlaat is 0,132 m.
De horizontale snelheid v_x waarmee de kogel de goot verlaat is 1,61 m/s.
Nadat de kogel de goot heeft verlaten raakt hij 0,455 s later de grond in punt Q.
De massa van de kogel bedraagt m = 15,0 g.

3p a. Toon met een berekening aan dat de kogel geen wrijving heeft ondervonden tussen P en het punt waar de kogel de goot verlaat.

2p b. Bereken de hoogte y van uiteinde van de goot boven de grond.

2p c. Bereken de afstand x.

De goot wordt nu zo ver naar beneden gebracht, dat het uiteinde op de hoogte komt van een karretje dat op rails staat. Zie figuur 2. De kogel begint nog steeds in P, zonder beginsnelheid.
De kogel wordt door het karretje opgevangen en blijft hierop stilliggen. Neem aan dat er daarbij geen energie “verloren” gaat. Het karretje rijdt daardoor met de kogel weg.
De massa van het karretje is 43,0 gram.

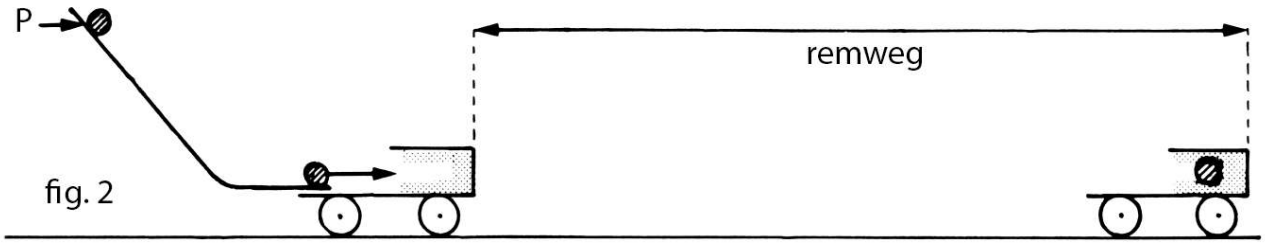


fig. 2

3p d. Bereken de snelheid van het karretje, direct nadat de kogel is opgevangen.
(Als u dit onderdeel niet kan beantwoorden, reken dan verder met de overigens onjuiste waarde v = 1,40 m/s)

Nadat het karretje is gaan rijden ondervindt het karretje een constante wrijvingskracht F_w van $5{,}0 \cdot 10^{-2}$ N. Door wrijving met de rails wordt het karretje afgeremd en komt het tot stilstand. Zie figuur 2.

3p e. Bereken de lengte van de remweg.

Copyright © 2023 CCVX

De goot wordt vervangen door een identieke goot waarvan het oppervlak ruw is.
In de goot verplaatst de kogel zich nu niet alleen, maar hij gaat er ook in rollen. Aan het eind voert de kogel dan ook twee bewegingen uit: een horizontale met snelheid v_x en een draaiende beweging (een rotatie).
Naast de gewone kinetische energie bezit de kogel dan ook een rotatie-energie E_{rot} waarvoor geldt:

$$E_{rot} = 0{,}2\ mv_x^2$$

De warmte, ontstaan door de wrijving in de goot, is te verwaarlozen. De kogel wordt opnieuw zonder beginsnelheid losgelaten in P. Zie figuur 3.

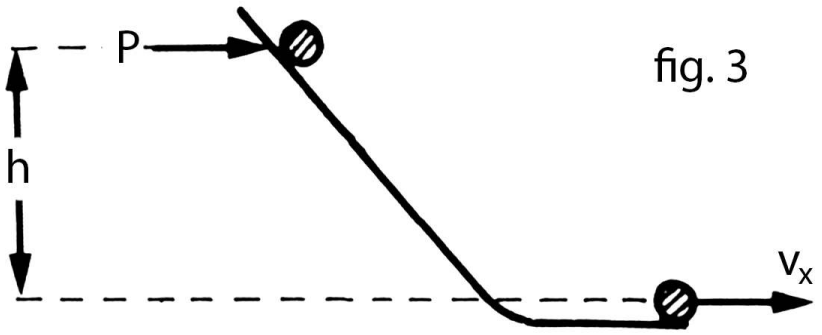


fig. 3

3p f. Bereken de snelheid v_x waarmee de kogel nu het uiteinde van de goot verlaat.

Copyright © 2023 CCVX

OPGAVE 2 - cv-installatie

In een cv-installatie bevindt zich een bepaalde hoeveelheid water met een temperatuur van 20 °C. Doordat de verwarming wordt aangezet stijgt de temperatuur van het water tot 70 °C.

3p a. Bereken de energie die per kg water minimaal nodig is voor deze temperatuurstijging.

Het water zet uit bij opwarming, waardoor de druk in de cv-installatie gevaarlijk hoog zou kunnen worden. Daarom neemt men in elke cv-installatie een expansievat op. Zie figuur 1. In figuur 2 is de uitzetting van een standaardhoeveelheid water weergegeven als functie van de temperatuur. Deze standaardhoeveelheid water heeft bij een temperatuur van 20 °C een volume van 100 liter.

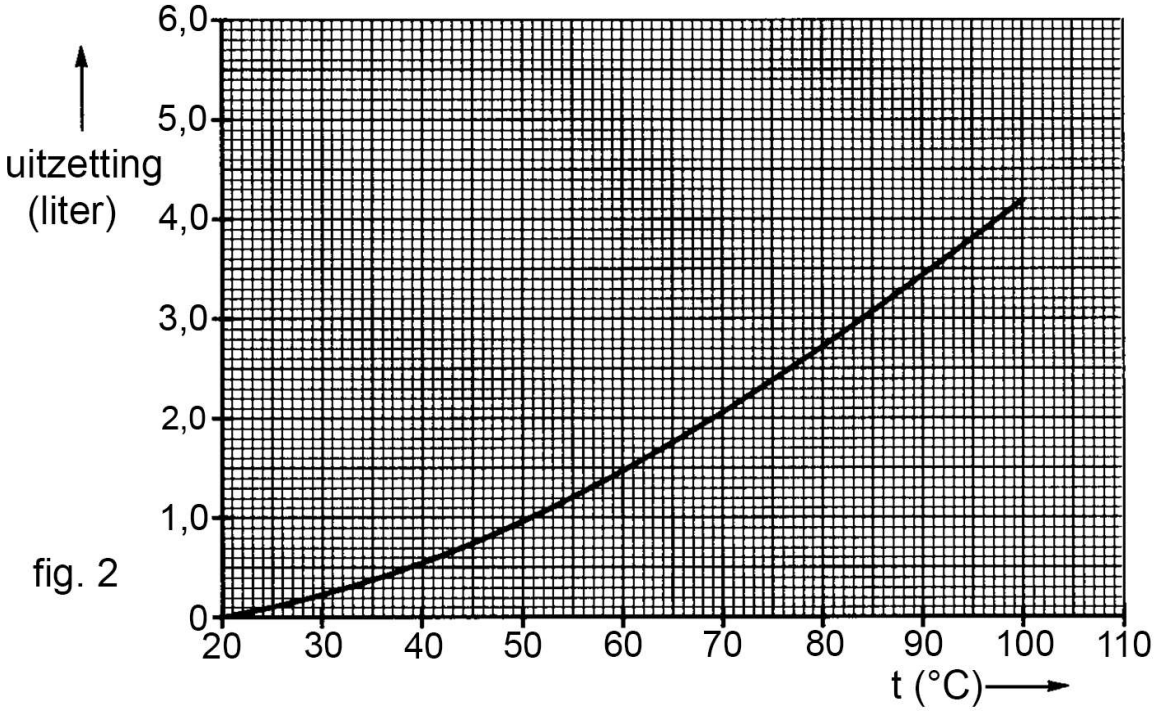


fig. 2

Door de verwarming van 20 °C naar 70 °C blijkt het water in de cv-installatie 7,8 liter uit te zetten.

3p b. Bepaal met behulp van figuur 2 de massa van het water in deze cv-installatie.

Figuur 2 is ook weergegeven op het antwoordblad.

3p c. Bepaal met behulp van deze grafiek de volumeverandering voor de standaardhoeveelheid water per graad temperatuurstijging bij 70 °C.

Copyright © 2023 CCVX

De uitzetting van het water wordt in het expansievat opgevangen. In figuur 3 is een dwarsdoorsnede van het vat getekend. In het vat bevindt zich een ondoordringbaar rubber membraan. Het membraan staat bij een watertemperatuur van 20 °C in de hoogste stand, zodat er zich nagenoeg geen water in het vat bevindt. In het vat bevindt zich stikstofgas dat onder deze omstandigheden een druk heeft van 160 kPa en een volume van 18,0 liter. Als de temperatuur in de cv-installatie is opgelopen tot 70 °C is het water 7,8 liter uitgezet. Zie figuur 4. De druk van het stikstofgas in het expansievat blijkt dan behoorlijk te zijn opgelopen.

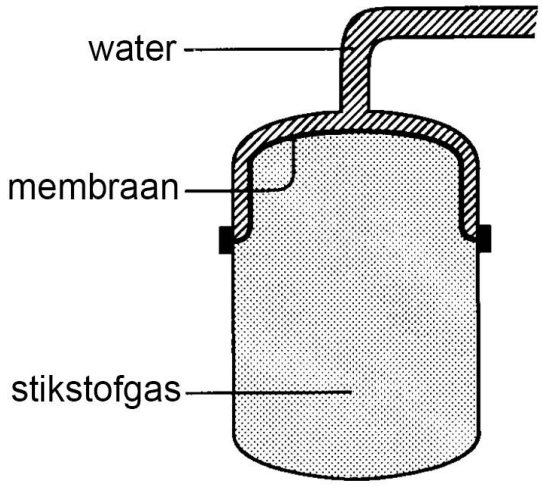


fig. 3

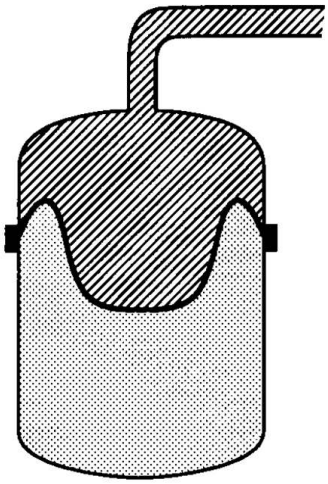


fig. 4

De uitzetting van buizen en radiatoren wordt verwaarloosd. Neem aan dat het temperatuur van het stikstofgas steeds gelijk is aan de temperatuur van het water.

4p d. Bereken de druk van het stikstofgas in het expansievat bij de watertemperatuur van 70 °C.

Om warm water voor de keuken en douche te verwarmen wordt soms gebruik gemaakt van een elektrische boiler. In deze boiler wordt het water verwarmd met een elektrisch verwarmingselement dat is aangesloten op de netspanning van 230 V.
In de boiler bevindt zich een hoeveelheid water. Om deze hoeveelheid tot 80 °C te verwarmen moet er $2{,}03 \cdot 10^7$ J aan warmte aan deze hoeveelheid water worden toegevoerd. Het rendement van het verwarmingselement is 95,0 %

Men wil deze hoeveelheid water in 150 minuten tot 80 °C verwarmen.

4p e. Bereken de elektrische stroomsterkte door het verwarmingselement die daarvoor nodig is. Geef het antwoord met het juiste aantal significante cijfers. Warmteverliezen aan de omgeving mogen worden verwaarloosd.

 Copyright © 2023 CCVX

OPGAVE 3 - verende strook metaal

Een dunne strook metaal (zie fig 1a) is aan één uiteinde ingeklemd. Wanneer men het andere uiteinde een kleine uitwijking naar achteren geeft en vervolgens loslaat, gaat de metaalstrook in een horizontaal vlak harmonisch trillen met een trillingstijd van 0,14 s. Zie figuur 1b.
Het geheel gedraagt zich dan als een massa-veersysteem. Waarbij de “veerconstante” wordt bepaald door de afmetingen en elasticiteit van de metaalstrook. En in plaats van dat men massa’s aan een veer hangt, brengt men massa’s aan het uiteinde van de metaalstrook aan. De massa van de metaalstrook wordt verwaarloosd.

Er wordt een asje, dat voorzien is van een schroefdraad, door het gaatje in het vrije uiteinde van de metaalstrook geschroefd. Daarna schroeft men metalen ringetjes op het asje. Steeds twee ringetjes tegelijk: één aan de ene kant van de metaalstrook en één aan de andere kant van de metaalstrook.

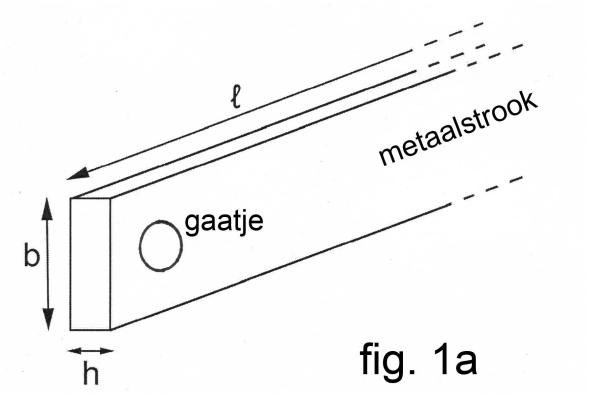


fig. 1a

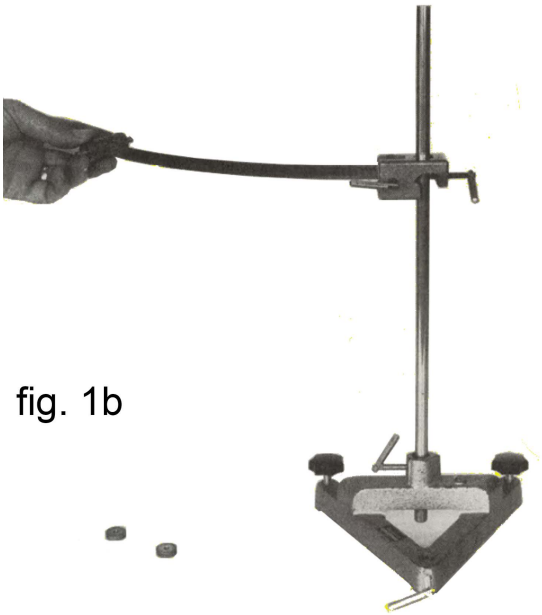


fig. 1b

De metaalstrook krijgt weer een uitwijking, wordt weer losgelaten en de trillingstijd van de harmonische trilling wordt weer opgemeten. De resultaten staan in de tabel.

	totale massa van de metalen ringen (g)	trillinstijd T(s)
zonder schroefasje		0,14
met schroefasje	0	0,30
	20	0,44
	40	0,55
	60	0,65
	80	0,73

3p a. Teken op het antwoordblad een grafiek van T^2 (het kwadraat van de trillingstijd) als functie van de totale massa van de opgeschroefde ringen.

Copyright © 2023 CCVX

4p b. Bepaal uit deze grafiek de massa van het schroefasje.

5p c. Bepaal de veerconstante van het trillende systeem met behulp van de grafiek van onderdeel a. Doe dit zo nauwkeurig mogelijk.

Als men aan het uiteinde van de metaalstrook een kracht F via een veerunster uitoefent, dan zal de metaalstrook een uitwijking krijgen ter grootte u. Zie figuur 2.

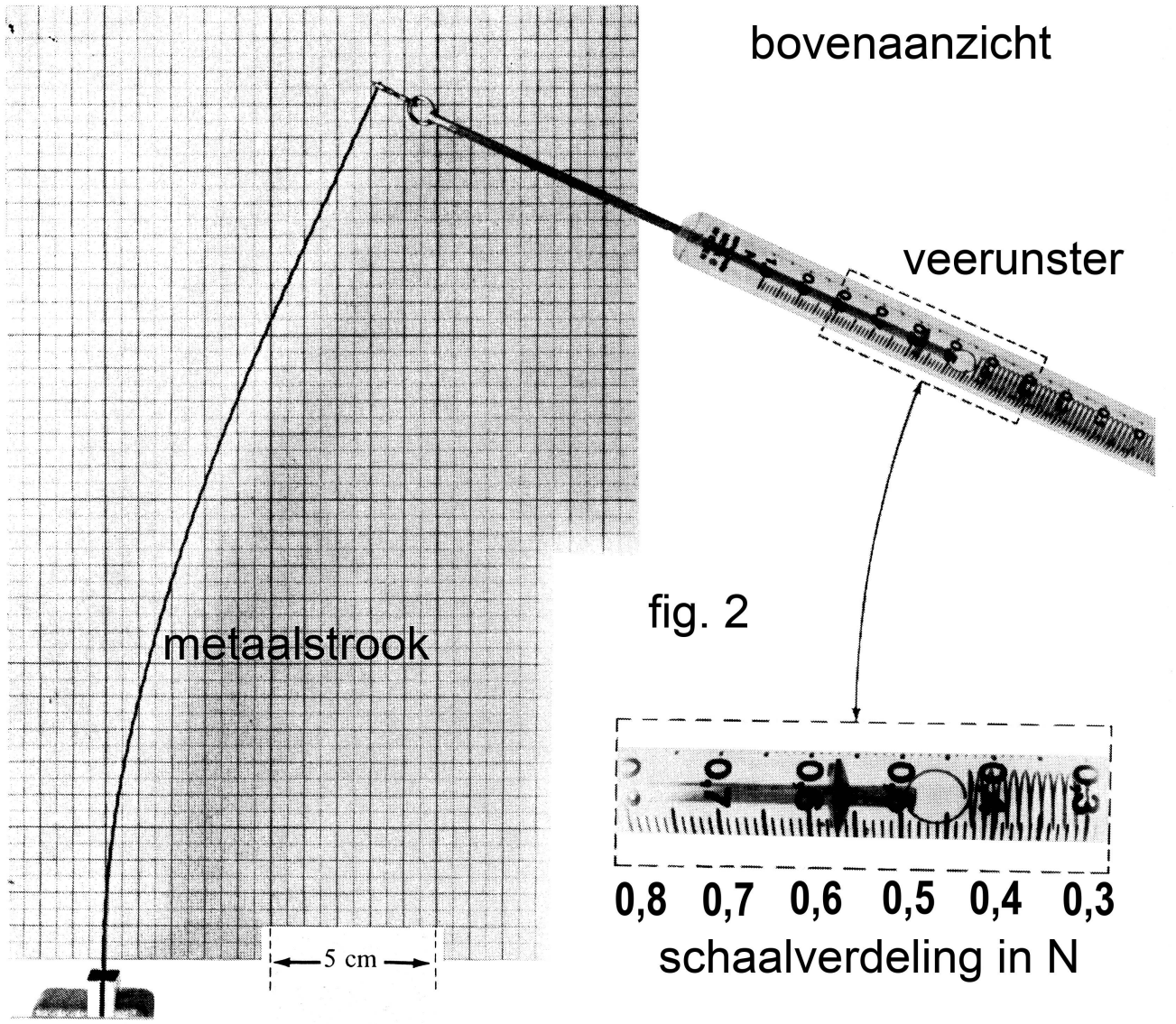


fig. 2

Voor kleine uitwijkingen u geldt de formule:

$$u = \frac{4}{E \cdot b} \cdot \left(\frac{\ell}{h}\right)^3 \cdot F$$

Hierin is: E een materiaalconstante, de zogenaamde Young's modulus,
b de breedte van de metaalstrook (in m),
ℓ de lengte van het vrije deel van de metaalstrook (in m),
h de dikte van de metaalstrook (in m).

In de beschreven proef is b = 12 mm, ℓ = 28 cm en h = 0,60 mm.

3p d. Bepaal met behulp van de formule de eenheid van E in SI-eenheden.

Copyright © 2023 CCVX

4p e. Bepaal de Young’s modulus van het gebruikte metaal.

De metaalstrook wordt nu niet horizontaal ingeklemd maar verticaal. Zie figuur 3.

3p f. Beredeneer of de trillingstijd dan verandert en zo ja hoe.
(Alle andere grootheden zoals de massa en de lengte blijven hetzelfde.)

fig. 3

Copyright © 2023 CCVX

OPGAVE 4 - plutonium

Terroristen zouden radioactieve stoffen kunnen gebruiken om een “vuile” bom te maken. Daarom zijn vele van die stoffen niet vrij verkrijgbaar.
Toch arresteerde de douane op een vliegveld ooit een terrorist met een flesje plutonium-239.

De activiteit van het plutonium in het flesje was $1{,}2 \cdot 10^{10}$ Bq.

3p a. Geef de kernreactievergelijking van het verval van ^{239}Pu.

Voor het verband tussen de activiteit A en het aantal radioactieve atomen N geldt:

$$A(t) = \frac{\ln 2}{t_{½}} N(t)$$

3p b. Leg uit, waarom je mag aannemen dat de activiteit constant is.

4p c. Bereken hoeveel gram plutonium-239 er in het flesje zat.

Het flesje houdt bijna alle alfa-straling tegen. Maar bij 0,0075% van de desintegraties ontsnapt een gammafoton van 0,030 MeV uit het flesje. Tijdens de vliegreis had de terorrist het flesje 1,5 uur in zijn hand die 25% van de gammastraling absorbeerde.
De massa van zijn hand is 0,35 kg.

5p d. Bereken de stralingsdosis die de hand van de terrorist heeft ontvangen door de straling van 0,030 MeV uit het flesje.

Copyright © 2023 CCVX

OPGAVE 5 - waterstofatoom in een elektrischveld

Energietoestanden van een atoom zijn soms “ontaard”. Dit betekent dat ze dezelfde energie hebben ondanks dat hun golffuncties verschillend zijn. Door een elektrisch veld aan te leggen kan men ervoor zorgen dat ontaarde energietoestanden een verschillende energie krijgen. Om dit te onderzoeken gebruiken we in deze opgave het model van een ‘deeltje in een doos’.

Als ruw model voor het waterstofatoom nemen we een kubusvormig doosje met daarin een elektron.

De energietoestanden van een deeltje met massa m in een “eendimensionale doos” met

een breedte van L zijn: $E_{n_x} = n_x^2 \dfrac{h^2}{8\,m\,L^2}$ hierin is n_x een quantum getal.

De energietoestanden van een deeltje in een driedimensionale kubus met zijden L zijn:

$E_{n_x,n_y,n_z} = (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)\dfrac{h^2}{8\,m\,L^2}$ er zijn nu dus drie quantumgetallen: n_x, n_y en n_z.

Met behulp van deze drie quantumgetallen kan men de energietoestand weergeven als (n_x,n_y,n_z). Zo is (1,1,1) de grondtoestand.

2p a. Leg uit dat het eerste aangeslagen energieniveau van het doosje bestaat uit drie ontaarde energietoestanden.

De zijden van het kubusvormige doosje worden zo gekozen, dat het verschil in energie van de grondtoestand en de eerste aangeslagen toestand gelijk is aan 10 eV, zie figuur 1b.
Met behulp van een homogeen elektrisch veld, dat langs de x-as is gericht, wordt de energie van elke energietoestand van het elektron in de doos veranderd. Hoeveel deze energieverandering bedraagt, hangt af van de veldsterkte en van het quantumgetal n_x.
De energieverandering hangt niet af van n_y en n_z, omdat het veld langs de x-as is gericht.

In figuur 1a is de ruimtelijke situatie getekend.
In figuur 1b is te zien welke gevolgen het elektrisch veld heeft voor de energieniveaus.

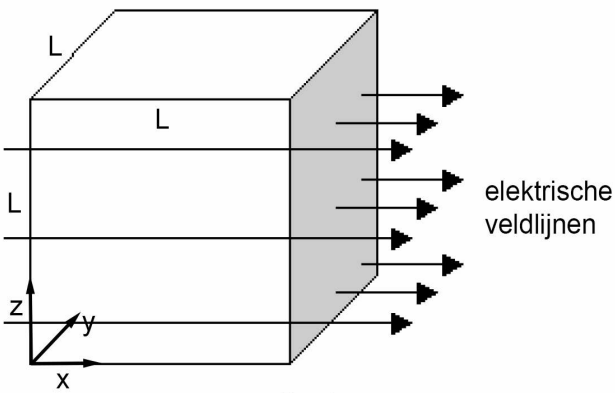


fig. 1a

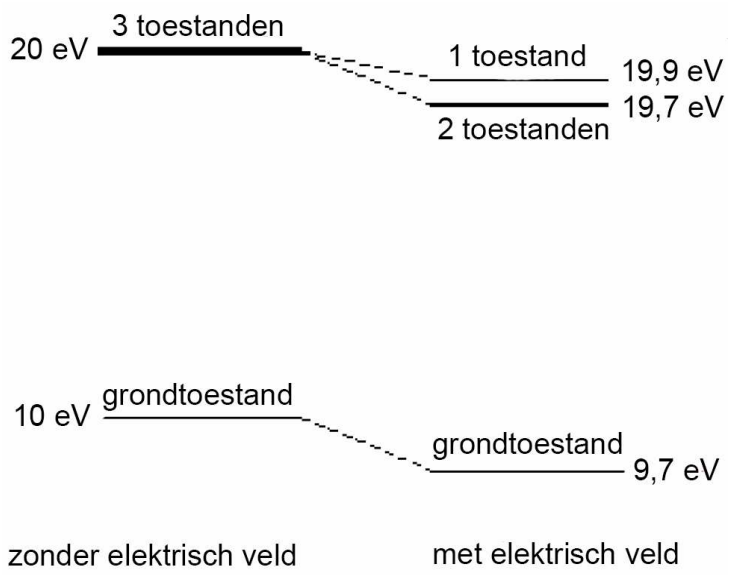


fig. 1b

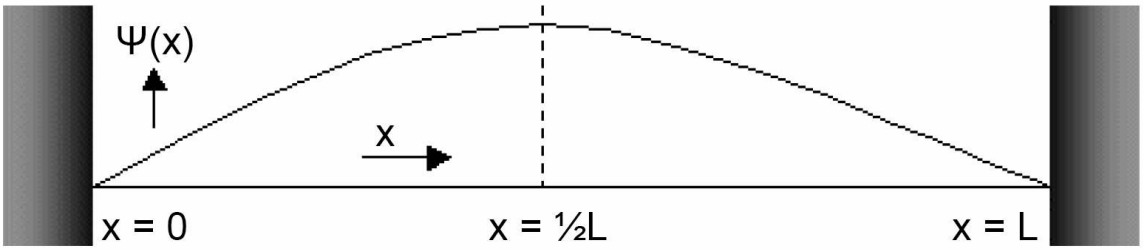
Copyright © 2023 CCVX

2p b. Leg uit waarom na aanleg van het veld nog steeds twee toestanden ontaard zijn.

3p c. Bereken de kleinste golflengte van het spectrum behorend bij het energieschema van figuur 1b, voor de situatie met elektrisch veld.

Het elektrisch veld verandert niet alleen de energie maar ook de golffunctie van elke energietoestand. In figuur 2 is de golffunctie Ψ(x) (in de x-richting) getekend van de grondtoestand van het elektron als er geen elektrisch veld is. L is de zijde van de kubus.

fig. 2



Als het elektrisch veld wel aanwezig is verandert deze golffunctie.

In figuur 3 zijn drie mogelijkheden getekend A, B en C.

3p d. Kies de juiste golffunctie (A, B of C) en leg uit waarom de andere twee niet juist kunnen zijn.

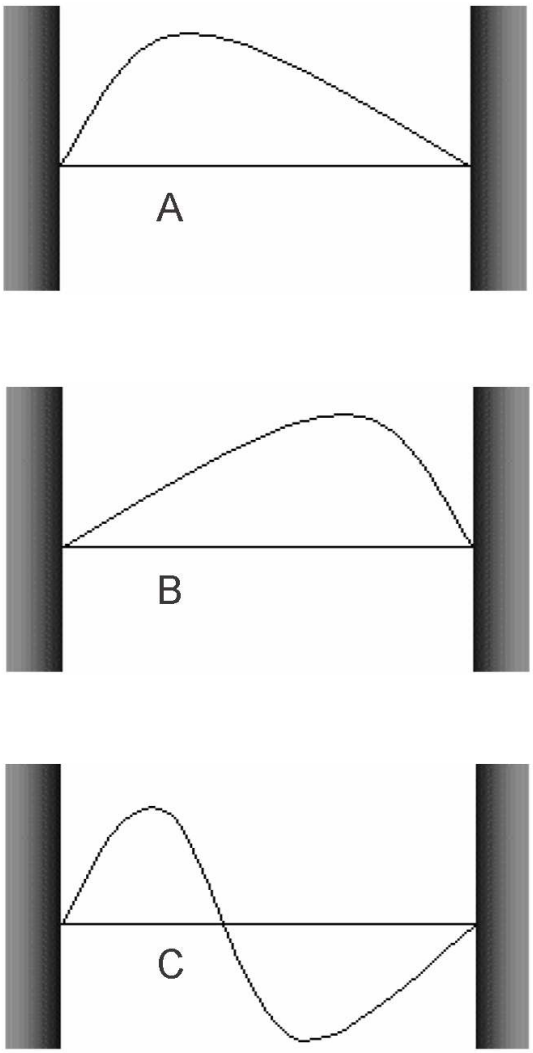


fig. 3

EINDE

Copyright © 2023 CCVX

ANTWOORDBLAD BIJ OPGAVE 2

Naam : .....

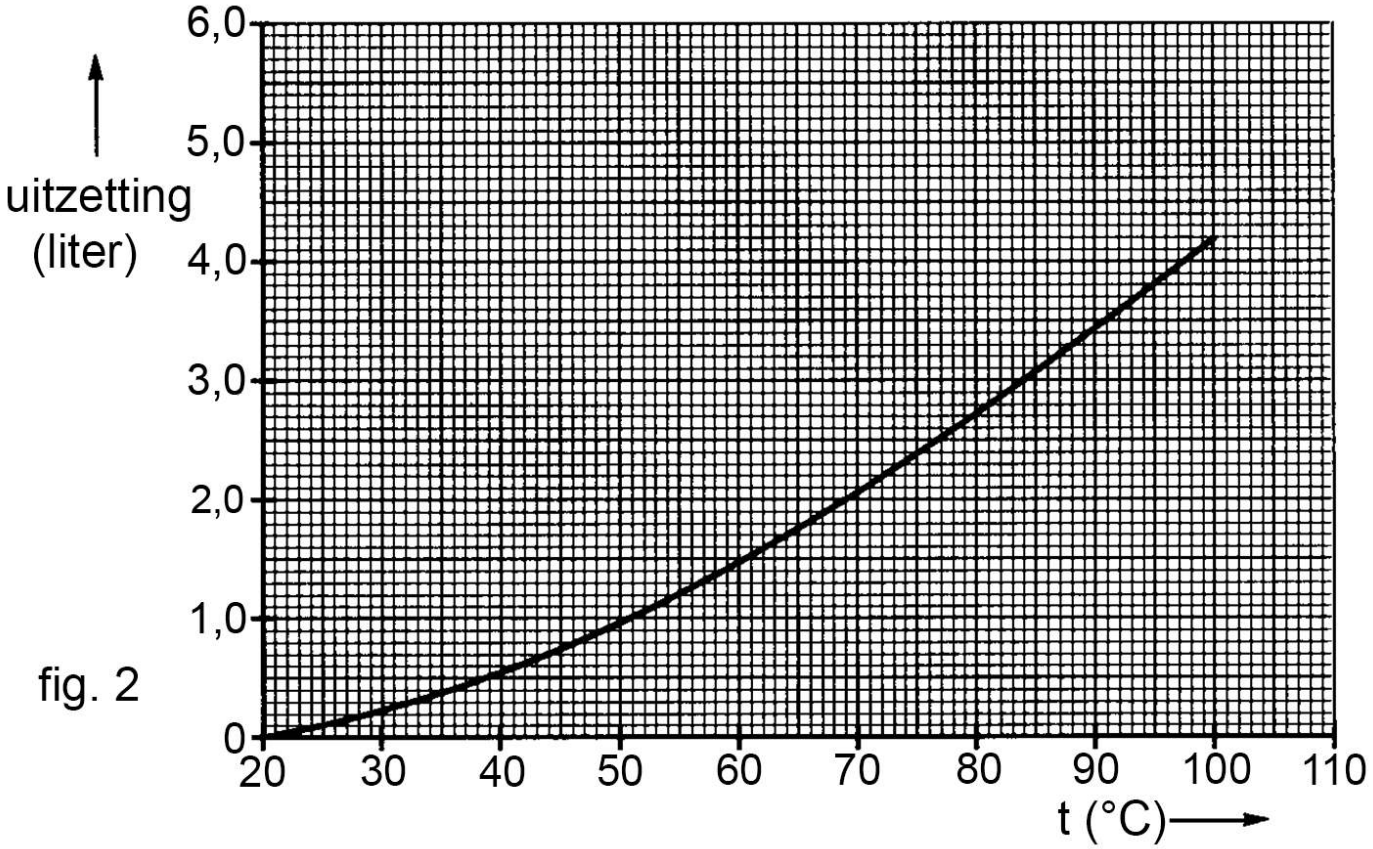
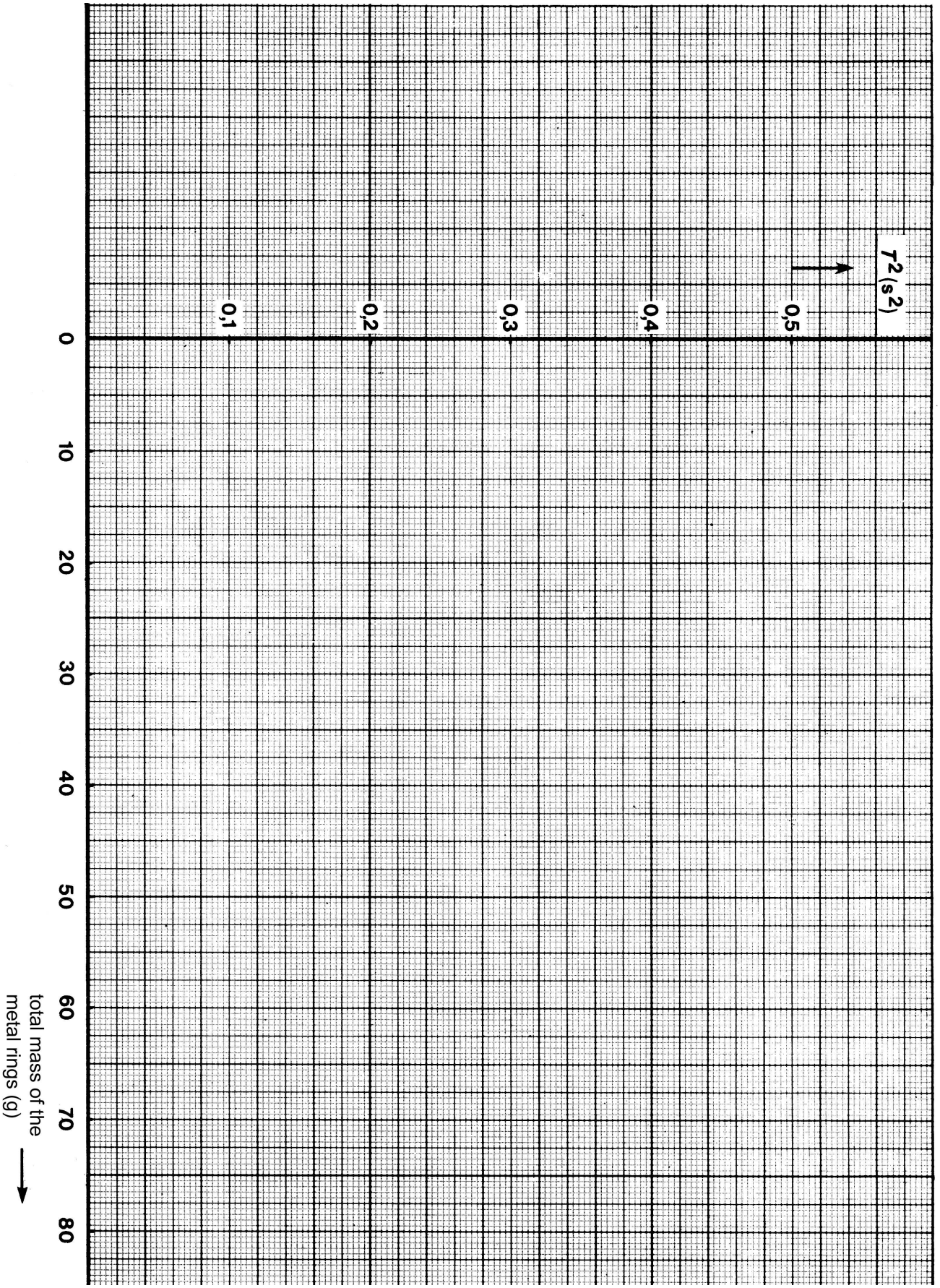


fig. 2

ANTWOORDBLAD BIJ OPGAVE 3

Naam : .....