

Opgave 1 Kerncentrale

Lees het onderstaande artikel.

Nog veertig jaar uitstralen

Geruime tijd geleden is de kerncentrale bij Dodewaard stilgelegd en zijn de splijtstofstaven uit het complex verwijderd.

Inmiddels is de centrale gereedgemaakt om veertig jaar lang zijn straling te verliezen.

Deze straling is afkomstig van twee bronnen: van materiaal dat zelf radioactief geworden is en van spullen die alleen radioactief besmet zijn. De belangrijkste radioactieve stof

is kobalt-60. Deze is ontstaan door de bestraling van het ijzer in de reactorwanden. De halveringstijd is zodanig dat er na veertig jaar minder dan $1/250$ e deel van de hoeveelheid kobalt-60 aanwezig is.

De gebouwen met radioactieve stoffen zijn ommuurd. Bij deze muren mag niet meer dan 4 becquerel per vierkante centimeter radioactiviteit gemeten worden, zo is de eis.

Kobalt-60 is ontstaan doordat ijzer-56 van de reactorwand voortdurend met neutronen werd bestraald. Daarbij vindt een aantal kernreacties achtereenvolgens plaats. Bij één van deze reacties komt ook een antineutrino vrij.

- 4p **1** Geef de reactievergelijkingen die het ontstaan van kobalt-60 in de reactorwand beschrijven.

In het artikel staat een uitspraak over de halveringstijd van kobalt-60.

- 3p **2** Ga met een berekening na of deze uitspraak juist is.

Kobalt-60 zendt β - en γ -straling uit. Rondom de reactorwand is een betonnen muur gebouwd, die de β -straling volledig absorbeert maar nog een klein gedeelte van de γ -straling doorlaat.

Deze γ -straling heeft een energie van 1,0 MeV.

- 3p **3** Bereken hoe dik de betonnen muur minstens moet zijn opdat de intensiteit van de γ -straling tot 0,10% van de oorspronkelijke waarde gereduceerd wordt.

Opgave 2 Jan-van-gent

De jan-van-gent is de grootste zeevogel van het Noordzeegebied. Zie figuur 1.

Hij leeft van vis, die hij door middel van een snelle duik vanuit de lucht uit het water haalt. Vanaf een hoogte van 30 m duikt hij daarbij zonder beginsnelheid loodrecht naar beneden en komt met een snelheid van ruim 100 km h^{-1} in het water terecht.

- 4p **4** Toon aan dat deze snelheid in een vrije val over 30 m niet gehaald wordt.

figuur 1



Een jan-van-gent heeft een massa van 2,8 kg. Op het tijdstip $t = 0 \text{ s}$ versnelt hij zonder verticale beginsnelheid door middel van een krachtige vleugelslag loodrecht naar beneden. Behalve de zwaartekracht levert hij dus zelf een kracht. Op $t = 0,82 \text{ s}$ is zijn snelheid 27 m s^{-1} .

- 4p **5** Bereken de gemiddelde kracht die de jan-van-gent tijdens dit gedeelte van zijn duik levert.

Vanaf $t = 0,82 \text{ s}$ werkt alleen de zwaartekracht nog. De jan-van-gent bevindt zich op dat moment nog 28 m boven het water.

- 3p **6** Bereken met behulp van energiebehoud met welke snelheid hij in het water terecht komt. Verwaarloos daarbij de luchtweerstand.

Opgave 3 Xylofoon

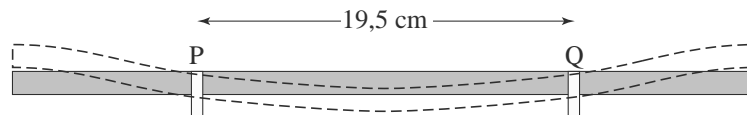
Een xylofoon is een muziekinstrument. Dit instrument bestaat uit een metalen frame, waarop houten klankstaven liggen die een toon voortbrengen als je er met xylofoonstokken op slaat. Onder de klankstaven hangen resonantiebuizen die het geluid versterken. Zie figuur 2.

figuur 2



Een van de klankstaven steunt op de plaatsen P en Q op het frame. Zie figuur 3. Wanneer de klankstaaf in het midden wordt aangeslagen, ontstaat er in de staaf een staande transversale golf met knopen in de punten P en Q.

figuur 3

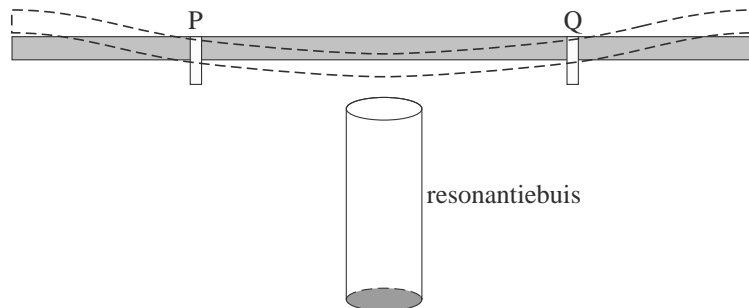


Deze klankstaaf brengt bij kamertemperatuur een toon voort met een frequentie van 440 Hz.

- 3p **7** Bereken de voortplantingssnelheid van de transversale golven in deze staaf.

De resonantiebuizen die onder de klankstaven hangen, zijn aan de bovenkant open en aan de onderkant gesloten. Zie figuur 4.

figuur 4



Na het aanslaan van een klankstaaf ontstaat in de lucht van de bijbehorende resonantiebuiz een staande longitudinale golf met 1,3 cm boven de buiz een buik. De resonantiefrequentie is gelijk aan de frequentie van de klankstaaf. De resonantiebuiz brengt de grondtoon voort. De temperatuur is 20 °C.

- 3p **8** Bereken de lengte van de resonantiebuiz die onder de klankstaaf van 440 Hz hangt.

Zonder de resonantiebuiz geeft de klankstaaf op een bepaalde afstand een geluidsdrukniveau van 60 dB, mét resonantiebuiz 77 dB.

- 3p **9** Bereken de verhouding van de geluidsintensiteiten met en zonder resonantiebuiz.

Opgave 4 Ruimtewiel

Het internationale ruimtestation ISS dat rond de aarde cirkelt, is gedeeltelijk afgeleid van de ideeën van de Duits-Amerikaanse raketgeleerde Wernher von Braun. Deze ontwierp in de jaren 50 van de vorige eeuw een wielvormig ruimtestation. Zie figuur 5.

figuur 5

Impressie van het ruimtewiel



We gaan er in het vervolg van deze opgave vanuit dat dit ruimtewiel ook werkelijk gerealiseerd is en op 1730 km hoogte in een cirkelvormige baan rond de aarde draait.

Voor de baansnelheid v van een ruimteobject dat in een cirkelbaan met straal r

om de aarde draait, geldt: $v = \sqrt{\frac{GM_{\text{aarde}}}{r}}$.

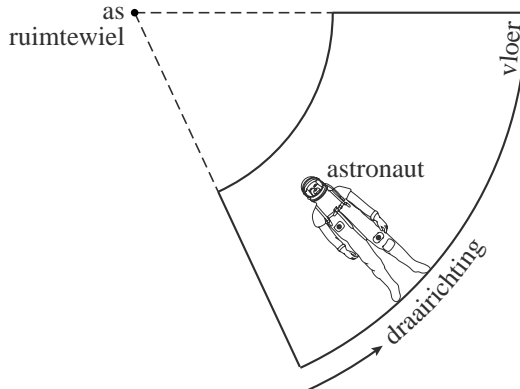
3p **10** Leid dit af.

3p **11** Bereken de omlooptijd van het ruimtewiel rond de aarde, in uur.

Doordat het ruimtewiel bovendien om zijn as draait, ondervindt een astronaut op de omtrek van het wiel een soort “kunstmatige zwaartekracht”.

In figuur 6 is een astronaut getekend die op de “vloer” van het ruimtewiel staat. Figuur 6 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 6



- 2p **12** Leg uit hoe deze kunstmatige zwaartekracht van de astronaut ontstaat. Je mag daarbij gebruik maken van de figuur op de uitwerkbijlage.

Het ruimtewiel draait in 22 s om zijn as. De grootte van de kunstmatige zwaartekracht aan de omtrek van het ruimtewiel is een derde van de zwaartekracht aan het aardoppervlak.

- 4p **13** Bereken de omtrek van het ruimtewiel.
Bereken daartoe eerst de hoeksnelheid ω .

Een ruimtewiel in de eenentwintigste eeuw maakt voor zijn energievoorziening gebruik van zonnecellen die zonlicht omzetten in elektrische energie. Het rendement van deze zonnecellen is 15%.

De gemiddelde intensiteit van het zonlicht dat de zonnecellen ontvangen is $0,70 \text{ kW m}^{-2}$.

Men wil in het ruimtewiel de elektrische stroom kunnen leveren bij een spanning van 48 V.

- 3p **14** Bereken de grootte van de stroomsterkte die er gemiddeld geleverd kan worden door een zonnepaneel van 200 m^2 , geheel bedekt met zonnecellen.

Opgave 5 Spanningzoeker

De netspanning in huis is 230 V. Het is gevaarlijk om met je vingers een ongeïsoleerde draad aan te raken. Er gaat dan een stroom lopen van de draad via je lichaam naar aarde. Een stroom van enkele milliampère door je lichaam kan al grote gevolgen hebben.

Een monteur raakt per ongeluk een ongeïsoleerde draad aan. Hij draagt speciale veiligheidsschoenen met zolen van rubber van 4,0 mm dikte. De totale oppervlakte van de zolen is $2,0 \text{ dm}^2$.

- 4p 15 Leg uit dat de rubberzolen voldoende bescherming bieden. Bereken daartoe eerst de weerstand van de rubberzolen.

Om te onderzoeken of er spanning op een draad staat, wordt een spanningzoeker gebruikt. Zie figuur 7.

Als er spanning op de draad staat en je houdt je duim op de achterkant van de spanningzoeker, dan gaat een lampje in de spanningzoeker branden.

In de spanningzoeker zit een serieschakeling van een weerstand van $1,0 \text{ M}\Omega$ en een lampje. Zie figuur 8.

figuur 7

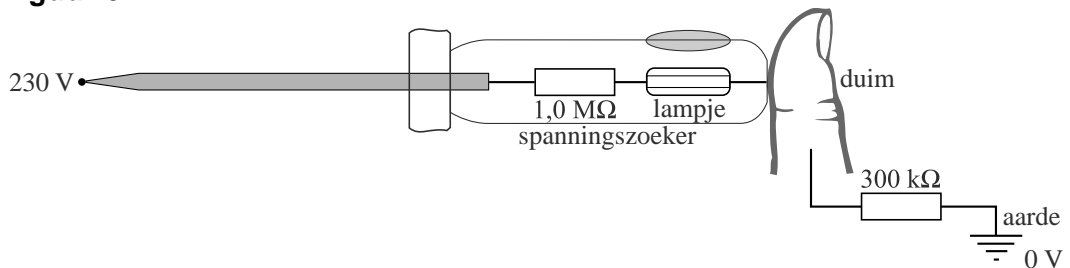


figuur 8



De spanningzoeker is via een persoon met een weerstand van $300 \text{ k}\Omega$ met de aarde verbonden. Zie figuur 9. In deze situatie verdeelt de spanning van 230 V zich over de weerstand van $1,0 \text{ M}\Omega$, het lampje en de weerstand van $300 \text{ k}\Omega$.

figuur 9



Het lampje gaat branden als er een spanning van meer dan 80 V over staat.

- 3p 16 Bereken hoe groot de weerstand van het lampje dan minimaal moet zijn.

Het handvat van de spanningzoeker is gemaakt van doorzichtig materiaal. In dit handvat zit vóór het (buis)lampje een bolvormige verdikking die werkt als een lens. Deze lens maakt een virtueel beeld van het buislampje.

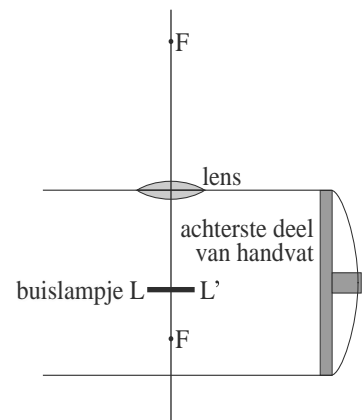
Figuur 10 is een tekening (niet op schaal) van het lampje en de lens. Figuur 10 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 4p **17** Construeer op de uitwerkbijlage het beeld dat de lens van het buislampje LL' maakt.

De afstand van het buislampje tot de lens is 8,0 mm. Het virtuele beeld is 4,0 keer zo groot als het lampje zelf.

- 4p **18** Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

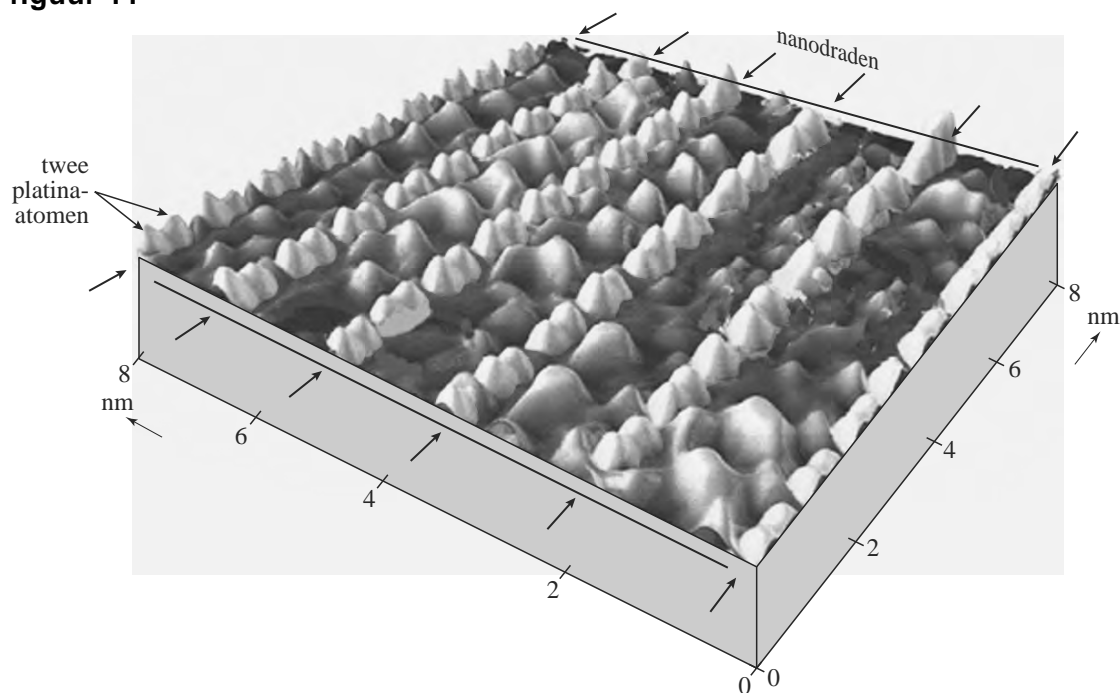
figuur 10



Opgave 6 Elektronen tussen nanodraden

In 2005 zijn onderzoekers van de Universiteit Twente erin geslaagd nanodraden van platina te laten groeien op een oppervlak van germanium. In figuur 11 is een beeld van het resultaat te zien. Dit beeld is met behulp van een zogenaamde scanning tunneling microscoop (STM) gemaakt.

figuur 11



In figuur 11 is te zien dat de nanodraden slechts één atoom dik zijn. De platina-atomen van een nanodraad zijn paarsgewijs achter elkaar gerangschikt. De hobbeltsjes tussen de nanodraden geven plaatsen met hoge elektronendichtheid aan. Het germaniumoppervlak van figuur 11 bevat gemiddeld 0,75 vrije elektronen per nm^2 . Neem aan dat deze allemaal afkomstig zijn van de platina-atomen.

- 3p **19** Bepaal met behulp van figuur 11 hoeveel vrije elektronen elk platina-atoom gemiddeld aan het germaniumoppervlak levert.

De onderzoekers hebben bij zeer lage temperatuur het energiespectrum van de elektronen op het germaniumoppervlak gemeten. Zie figuur 12. De metingen zijn gedaan bij twee waarden van de afstand L tussen de nanodraden. Horizontaal is de energie uitgezet en verticaal de kans dat een bepaald energieniveau door een elektron is bezet.

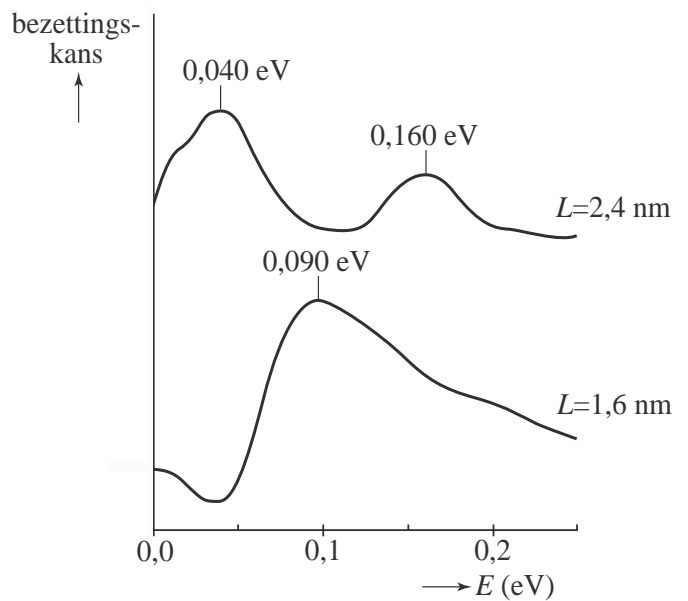
Bij $L = 2,4 \text{ nm}$ kan een elektron door absorptie van een foton de overstap maken van de $0,040 \text{ eV}$ -piek naar de $0,160 \text{ eV}$ -piek.

- 3p **20** Bereken de golflengte die dit foton daartoe moet hebben.

In figuur 12 is bij drie pieken de waarde van de energie aangegeven. De onderzoekers schrijven de drie pieken toe aan opsluiting van de elektronen tussen de nanodraden. Ze verwachten dat de beweging van de elektronen loodrecht op de draden goed wordt beschreven door het ééndimensionale doosjesmodel.

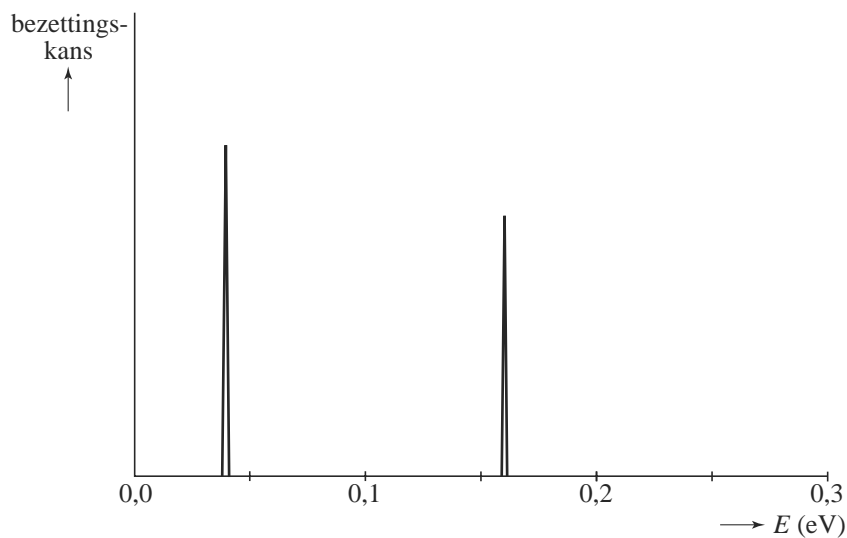
4p **21** Laat zien dat de onderlinge verhoudingen van de energieën van de drie pieken inderdaad kloppen met wat het ééndimensionale doosjesmodel voorspelt.

figuur 12



Als het ééndimensionale doosjesmodel een perfecte beschrijving van de elektronen tussen de nanodraden zou geven, dan zou de bezettingskans als functie van de energie er voor $L = 2,4$ nm uitzien als in figuur 13.

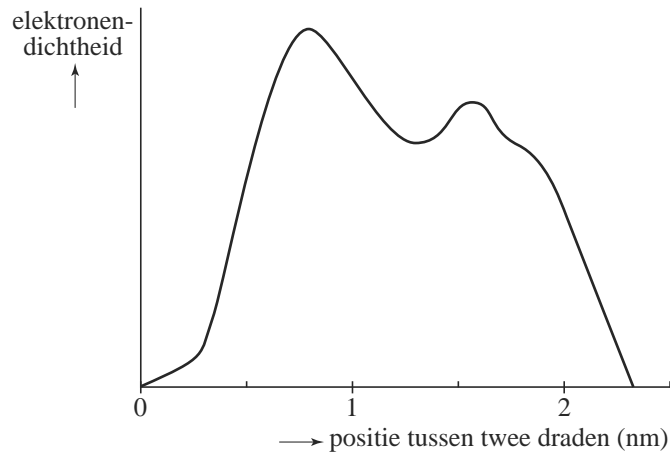
figuur 13



3p **22** Verklaar met het ééndimensionale doosjesmodel:
 1 Waarom binnen het energiebereik in figuur 13 slechts twee pieken passen.
 2 Waarom voor alle overige energieën in figuur 13 de bezettingskans nul is.

De onderzoekers hebben ook de elektronendichtheid tussen twee nanodraden in de richting loodrecht op de draden gemeten. Voor $L = 2,4$ nm zijn de resultaten gegeven in figuur 14.

figuur 14



Met behulp van het ééndimensionale doosjesmodel voor de beweging loodrecht op de draden, zou men twee conclusies kunnen trekken:

- a Alle elektronen zitten in het laagste energieniveau van het doosje ($n = 1$).
- b Alle elektronen zitten in het op één na laagste energieniveau ($n = 2$).

3p **23** Leg met behulp van figuur 14 uit dat beide conclusies (a en b) niet juist zijn.