

## Opgave 1 Onderwatergeluid

Lees onderstaand artikel.

De Koninklijke marine heeft met groot succes een door TNO ontwikkeld nieuw type sonar getest, LFAS (low frequency active sonar). Deze laagfrequente actieve sonarsystemen zijn gebaseerd op geluid tot 2000 Hz en dragen veel verder in de oceaan dan de tot nu toe gebruikte systemen.

naar Technisch weekblad, 14-10-2006

Een sonar zendt onder water geluidsgolven uit die na weerkaatsing tegen voorwerpen kunnen terugkomen. Uit de tijd die het geluid er over doet om heen en terug te gaan, kan de afstand tot het voorwerp bepaald worden.

De sonar van een schip wordt ingezet om een rots onder water op te sporen. De echo van het geluid wordt 4,35 s na het uitzenden opgevangen. De temperatuur van het zeewater is 20 °C.

- 3p 1 Bereken de afstand van het schip tot de rots.

Met een 2,0 kHz sonar kunnen in zee scholen vis worden gedetecteerd. Vissen kleiner dan een halve meter die alleen zwemmen zijn hiermee echter niet of nauwelijks te detecteren.

- 3p 2 Leg met een berekening uit waarom deze vissen slecht met deze sonar kunnen worden gedetecteerd.

Bij de marine gebruikt men onderwatergeluid met een zeer sterk volume. De geluidsbron levert daarbij op 30 m afstand een geluids(druk)niveau van 160 dB.

- 3p 3 Bereken het vermogen van deze geluidsbron er van uitgaande dat in alle richtingen even sterk wordt uitgezonden. (In werkelijkheid wordt er maar in een zeer beperkte richting uitgezonden.)

Het gebruik van de LFAS-sonar is omstreden. Dolfijnen en walvissen, die onderling ook communiceren met sonar, worden tot op grote afstand in de war gebracht door deze geluidsgolven.

Men gaat ervan uit dat deze dieren last hebben van LFAS zodra het geluids(druk)niveau ervan meer is dan 50 dB, het normale geluids(druk)niveau van een rustige zee.

- 4p 4 Laat met behulp van een berekening zien of deze dieren op  $1,0 \cdot 10^3$  km afstand last hebben van bovengenoemde geluidsbron. Verwaarloos daarbij de afname van de sterkte van het geluid door andere oorzaken dan de toegenomen afstand.

Bij de overgang van zeewater naar lucht vertoont geluid breking. Voor breking van geluid gelden dezelfde wetten als voor breking van licht. Voor de brekingsindex  $n$  voor de overgang van zeewater naar lucht geldt:

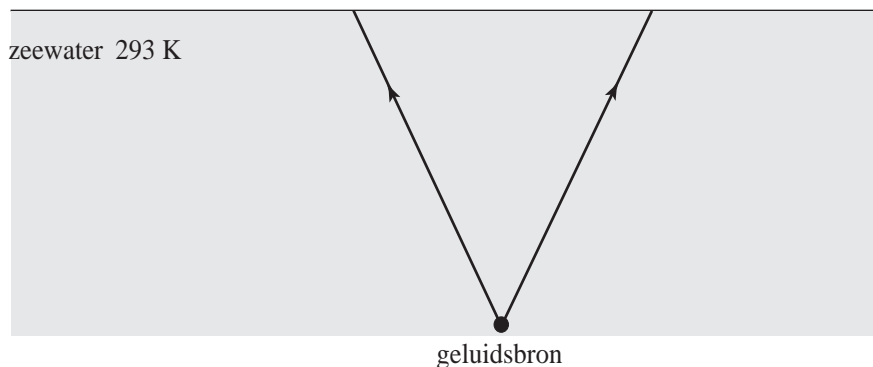
$$n = \frac{v_{\text{zeewater}}}{v_{\text{lucht}}}$$

Hierin is  $v_{\text{zeewater}}$  de geluidssnelheid in zeewater en  $v_{\text{lucht}}$  de geluidssnelheid in lucht.

In figuur 1 zijn twee geluidstralen getekend die de richting van het geluid aangeven dat afkomstig is van een sonar op een onderzeeboot. Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

**figuur 1**

lucht, 293 K



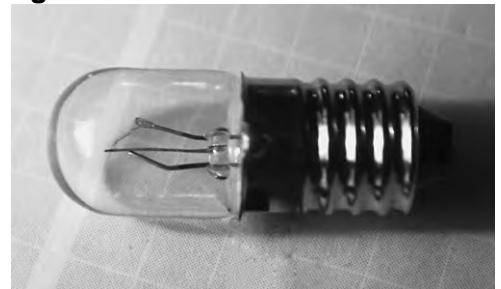
De beide getekende geluidstralen bereiken onder dezelfde hoek het zeewateroppervlak.

- 5p **5** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe de geluidstralen na breking verder lopen in de lucht. Bepaal daartoe eerst de hoeken van breking aan het zeewateroppervlak.

## Opgave 2 Knipperlampje

Er is een knipperlampje te koop dat automatisch gaat knipperen als je het op een bepaalde spanning aansluit. Zie figuur 2. In dit lampje is de gloeidraad in serie geschakeld met een bimetaal dat als schakelaar werkt. Als de schakelaar dicht is, warmt het bimetaal op en trekt het krom. Bij een bepaalde temperatuur maakt het bimetaal geen contact meer en gaat de schakelaar open. Als het bimetaal voldoende is afgekoeld sluit de schakelaar weer, enzovoort.

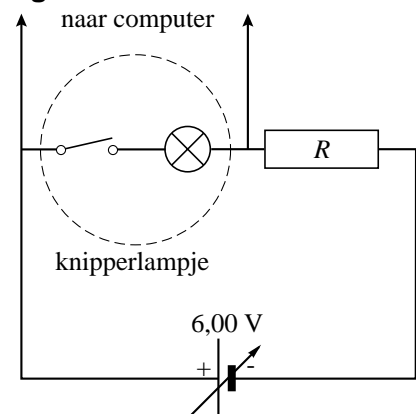
figuur 2



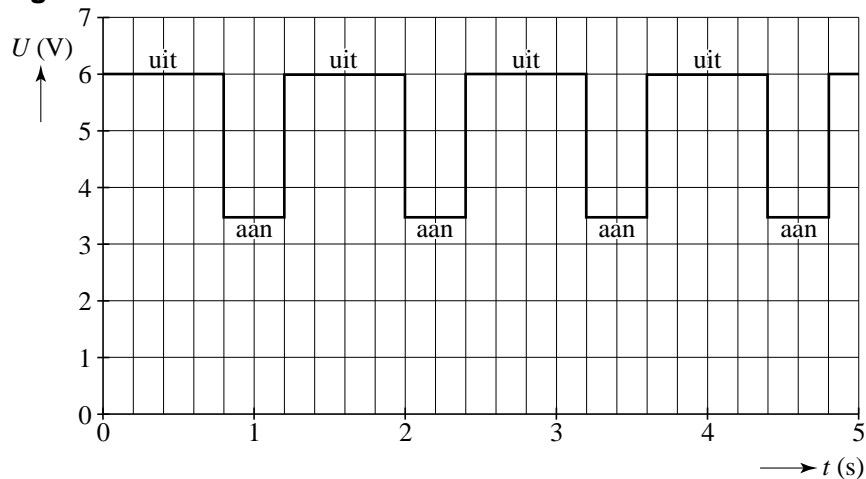
Het knipperlampje wordt in serie met een weerstand  $R$  aangesloten op een spanningsbron die is ingesteld op 6,00 V. Zie figuur 3.

Een computer meet de spanning over het knipperlampje als functie van de tijd. Deze meting is weergegeven in figuur 4.

figuur 3



figuur 4



Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 3p **6** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de spanning over de weerstand  $R$  als functie van de tijd.

Op het lampje staat: 3,5 V & 400 mA.

Om het lampje op deze manier te laten branden, moet de weerstand  $R$  die er mee in serie staat de juiste waarde hebben.

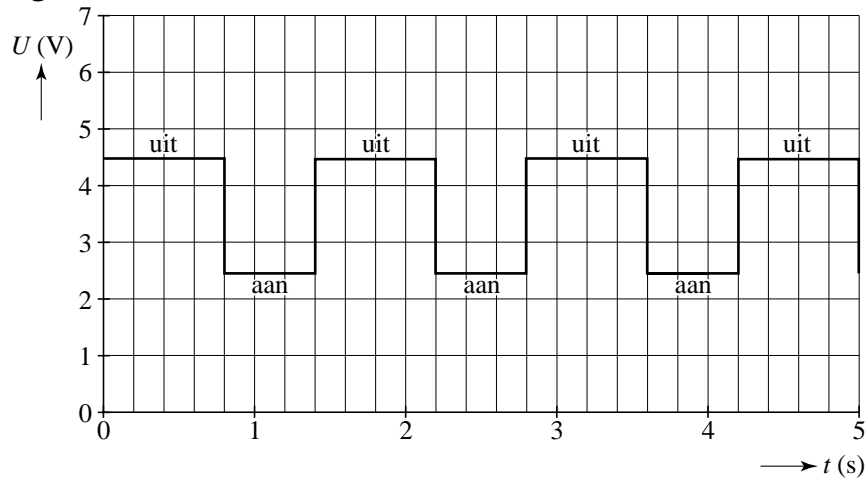
3p **7** Bereken de waarde van  $R$ .

Het bimetaal bestaat uit 2,5 mg messing en 2,0 mg roestvrij staal. Van de toegevoerde elektrische energie wordt 30% omgezet in warmte in het bimetaal.

5p **8** Bereken de temperatuurstijging van het bimetaal bij één keer knippen.

De spanningsbron wordt nu ingesteld op 4,5 V. Opnieuw wordt de spanning over het knipperlampje gemeten als functie van de tijd. Zie figuur 5.

**figuur 5**



In figuur 5 is te zien dat het lampje nu op een lagere spanning brandt. Ook blijkt dat het lampje per keer **langer** aan is dan bij de proef met de hogere spanning.

2p **9** Leg uit waarom het lampje nu per keer langer aan is.

### Opgave 3 Valtoren

Wetenschappers willen bestuderen hoe vloeistofstromen verlopen als er geen zwaartekracht zou zijn. Om het effect van de zwaartekracht uit te schakelen worden de experimenten uitgevoerd in een capsule die een vrije val maakt. De vloeistoffen zijn dan gewichtloos.

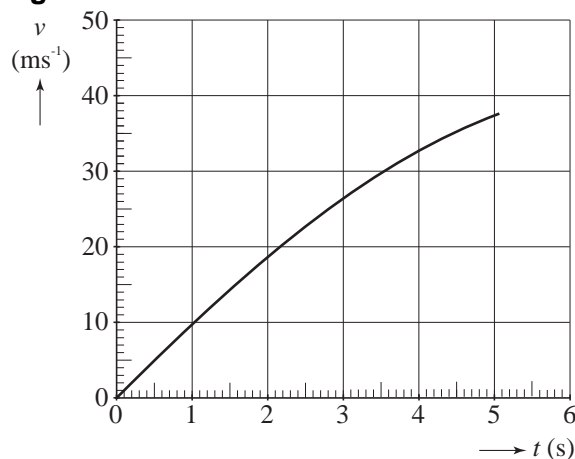
Deze experimenten kunnen worden uitgevoerd in de valtoren van Bremen, waarin een capsule over een afstand van 110 m kan vallen, zie figuur 6.

In figuur 7 staat de  $(v,t)$ -grafiek van een vallende capsule.

figuur 6



figuur 7



Aan de grafiek is te zien dat de capsule tijdens deze val luchtweerstand ondervond. Figuur 7 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p **10** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe de grafiek zou lopen indien er helemaal geen luchtweerstand was geweest. Laat de grafiek eindigen op het tijdstip dat de 110 m is afgelegd.

In de valtoren bevindt zich een cilindervormige valbuis met een lengte van 120 m en een diameter van 3,5 m. Om de gewichtloze toestand zo goed mogelijk te benaderen wordt de valbuis vacuüm gepompt.

De luchtdruk is 1025 hPa en de temperatuur is 20 °C.

De molaire massa van lucht is 28,8 g.

- 4p **11** Bereken de massa van de lucht die uit de buis gepompt moet worden. Verwaarloos daarbij het volume dat door apparatuur en dergelijke ingenomen wordt.

In werkelijkheid is het niet mogelijk om de buis volledig vacuüm te pompen. Daardoor is de vloeistof in de capsule net niet helemaal gewichtloos. Men spreekt dan van microzwaartekracht: tijdens het vallen blijkt het gewicht nog maar een miljoenste deel van de gewone zwaartekracht te zijn.

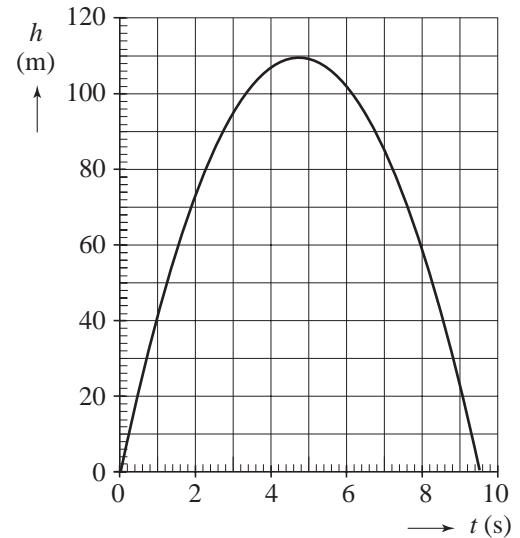
3p **12** Bereken het gewicht van 1,0 mL siliconenolie tijdens het vallen.

In plaats van de capsule op te hijsen en te laten vallen, kan men de capsule ook naar boven schieten met een soort katapult.

Figuur 8 is het bijbehorende  $(h,t)$ -diagram;  $h = 0$  is zowel de hoogte waarop de capsule loskomt van de katapult als de hoogte waarop het afremmen van de landing begint.

2p **13** Leg uit hoe lang de tijdsduur is dat de vloeistof vrijwel gewichtloos is.

**figuur 8**



In figuur 9 staat de grafiek van de kracht die de katapult op de capsule uitoefent tijdens het wegschieten.

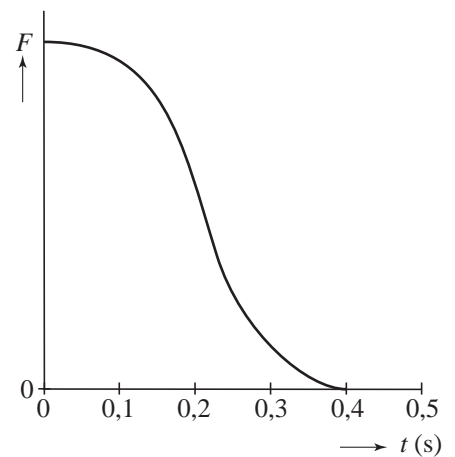
Behalve de waarde 0 staan er verder geen waarden bij de  $F$ -as. Figuur 9 staat ook op de uitwerkbijlage.

De capsule heeft een massa van 120 kg.

5p **14** Bepaal de maximale waarde van de kracht die de katapult op de capsule uitoefent.

Gebruik daartoe eventueel figuur 9 op de uitwerkbijlage.

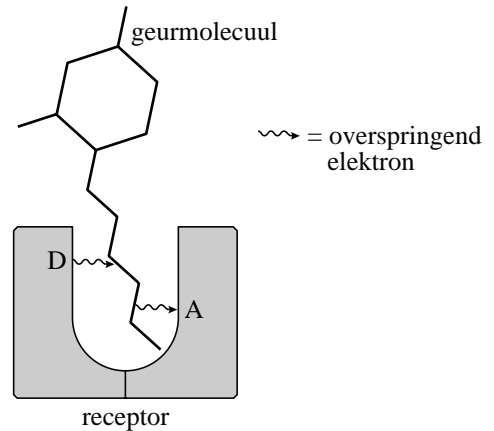
**figuur 9**



### Opgave 4 Quantumneus

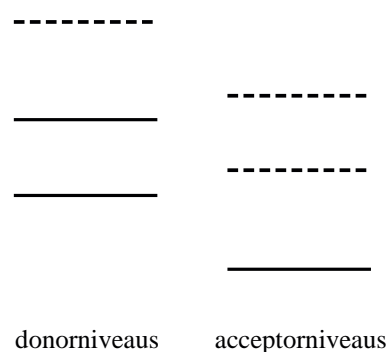
We kunnen ruiken omdat in onze neus receptoren zitten die geurmoleculen opvangen en vervolgens een signaal naar de hersenen sturen. Hoe geurmoleculen dit signaal opwekken is nog niet met zekerheid bekend. Een theorie hierover is afkomstig van de Franse onderzoeker Luca Turin. Volgens deze theorie kan men receptoren in de neus opgebouwd denken uit twee elektroden: de donor D en de acceptor A. Als een elektron via een opgevangen geurmolecuul overspringt van D naar A, ruik je de stof waarvan het geurmolecuul afkomstig is. Zie figuur 10.

figuur 10



In figuur 11 is zowel voor donormolecuul als acceptormolecuul een deel van het energieniveauschema weergegeven. Geheel of gedeeltelijk bezette niveaus zijn weergegeven met doorgetrokken lijnen, onbezette niveaus met streeplijnen.

figuur 11



2p 15 Leg uit met behulp van figuur 11 dat een elektron alleen kan overspringen van donor naar acceptor nadat het energie heeft afgestaan of opgenomen.

Neem aan dat de donor een oneven aantal elektronen bevat en zich in de grondtoestand bevindt.

2p 16 Leg uit dat het hoogst bezette energieniveau van de donor slechts gedeeltelijk bezet is.

Volgens Turin botst een donorelektron met het geurmolecuul en staat daarbij precies voldoende energie aan het geurmolecuul af om naar de acceptor te kunnen springen. Als gevolg van deze energieopname gaat het geurmolecuul harder trillen.

Voor twee-atomige geurmoleculen worden de energieniveaus gegeven door:

$$E_n = (2n - 1)hf_1$$

Hierin is:

- $h$  de constante van Planck,
- $n$  het quantumgetal ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ),
- $f_1$  de grondfrequentie van het trillende molecuul.

Voor een bepaald geurmolecuul is  $f_1$  gelijk aan  $1,75 \cdot 10^{13}$  Hz.

We bekijken nu de situatie dat de bijbehorende stof wordt geroken.

- 3p **17** Bereken hoeveel energie een overspringend elektron dan minimaal afgeeft aan het geurmolecuul.

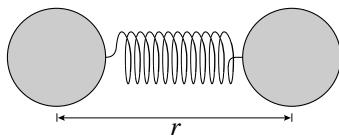
Nadat een geurmolecuul met de gegeven  $f_1$  door een overspringend elektron is aangeslagen valt het vanuit de aangeslagen toestand met quantumgetal  $n$  rechtstreeks terug naar de grondtoestand. Voor kleine waarden van  $n$  komt hierbij infraroodstraling vrij.

De golflengte van infraroodstraling is minimaal 750 nm.

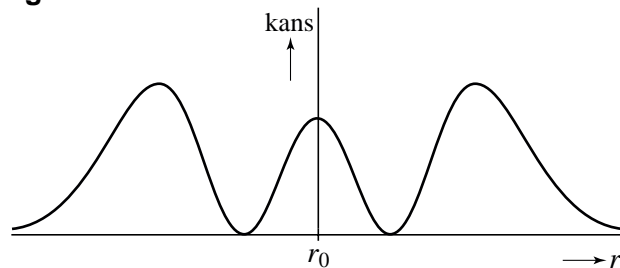
- 4p **18** Bereken de maximale waarde van  $n$  waarbij nog infraroodstraling vrijkomt.

Een twee-atomig molecuul kan schematisch worden weergegeven op de manier van figuur 12. De beide atomen kunnen worden opgevat als gebonden deeltjes, waarvan de onderlinge afstand  $r$  ten gevolge van de trilling varieert om een evenwichtswaarde  $r_0$ . In figuur 13 is voor een bepaalde energietoestand weergegeven hoe de kans dat de atomen op afstand  $r$  van elkaar zitten, afhangt van deze afstand.

figuur 12



figuur 13



- 3p **19** Leg uit welk quantumgetal  $n$  hoort bij de kansfunctie van figuur 13 en teken in de uitwerkbijlage de bijbehorende golf functie  $\Psi(r)$ .

De potentiële energie van de trillende atomen is groter naarmate  $r$  meer verschilt van  $r_0$ .

- 2p **20** Leg met behulp van de kinetische energie van de trillende atomen uit waarom de middelste piek in figuur 13 smaller is dan de andere twee pieken.



### Opgave 5 Vliegwiel

In een vliegwiel wordt bewegingsenergie (rotatie-energie  $E_{\text{rot}}$ ) opgeslagen.

Als het vliegwiel, zonder te draaien, zich verplaatst met snelheid  $v$  geldt voor de kinetische energie:  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ .

Als een vliegwiel met een vorm zoals afgebeeld in figuur 14, zich niet verplaatst maar wel om zijn as draait, geldt voor de kinetische energie:  $E_{\text{rot}} = \alpha mv_{\text{rand}}^2$ . Hierin is

$v_{\text{rand}}$  de snelheid van een punt op de buitenste rand van het vliegwiel,  $m$  de massa van het vliegwiel en  $\alpha$  een constante.

- 2p **21** Leg uit waarom  $\alpha$  wel kleiner moet zijn dan  $\frac{1}{2}$ .

In de Verenigde Staten rijden treinen met grote vliegwielen. In figuur 14 zijn de afmetingen van zo'n vliegwiel aangegeven. De buitenste rand van het vliegwiel mag bij een stilstaande trein maximaal een snelheid bereiken van  $1000 \text{ m s}^{-1}$ . Onder het toerental verstaan we het aantal omwentelingen per minuut.

- 3p **22** Bereken het maximaal toegestane toerental.

Bij te hoge toerentallen bestaat het gevaar dat stukjes materiaal van de buitenste rand van het vliegwiel afvliegen. Daarom moet de kracht groot zijn waarmee het materiaal van de buitenrand hecht aan de rest van het vliegwiel.

- 3p **23** Bereken bij het vliegwiel van een stilstaande trein de verhouding tussen de hechtende kracht op een stukje materiaal aan de buitenrand en de zwaartekracht op dat stukje.

Als een trein een helling oprijdt, zal de trein snelheid verliezen als het motorvermogen gelijk blijft en de wrijvingskrachten niet veranderen. Men wil echter de snelheid van de trein constant houden. Daarom wordt er voortdurend rotatie-energie van het vliegwiel toegevoerd aan de trein. Voor het gebruikte vliegwiel is bovengenoemde  $\alpha$  gelijk aan  $\frac{1}{4}$ .

Aan het begin van de helling draait de buitenste rand van het vliegwiel met  $600 \text{ m s}^{-1}$ . De lengte van de helling is 3,2 km. De hellingshoek is  $4,0^\circ$ . De massa van het vliegwiel is  $8,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . De massa van de trein (inclusief vliegwiel) is  $2,4 \cdot 10^5 \text{ kg}$ . Verwaarloos bij de overdracht van energie van het vliegwiel naar de trein de verliezen door wrijving en warmte.

- 4p **24** Bereken de snelheid van een punt op de omtrek van het vliegwiel aan het eind van de helling.

figuur 14

