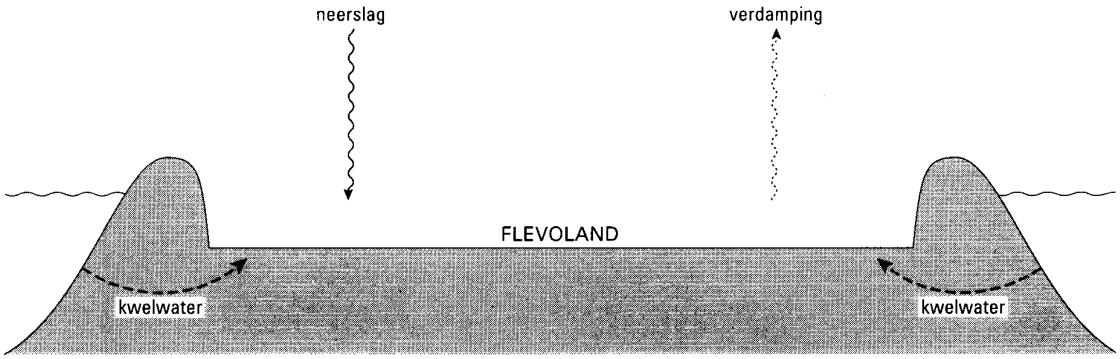
Opgave 1 Pompen

De polder waarin Oostelijk en Zuidelijk Flevoland liggen, is helemaal omgeven door water. Met behulp van pompen wordt in deze polder de waterstand op een constant peil gehouden. De polder heeft een oppervlakte van 970 km^2. Het water uit de polder moet 5,16 m omhoog worden gepompt naar de omliggende wateren.
Zie de schematische dwarsdoorsnede in figuur 1.

figuur 1



Alle pompen samen pompen per minuut $8{,}0 \cdot 10^3$ m^3 water weg uit de polder.
De hoeveelheid weg te pompen water hangt onder meer af van de hoeveelheid neerslag en van de hoeveelheid water die verdampt. Bovendien stroomt kwelwater de polder in.
Dit is water dat via de ondergrond en door de dijken de polder binnenloopt. Zie nogmaals figuur 1.
In een aar valt op het totale grondoppervlak 730 mm regenwater, waarvan 610 mm verdampt. De hoeveelheid kwelwater bedraagt voor de gehele polderoppervlakte 600 mm per jaar.

4p **1** Bereken hoeveel uren per jaar de pompen samen in bedrijf moeten zijn.

Enkele pompen worden aangedreven door een elektromotor. Als de elektromotor in werking is, wekt hij een inductiespanning op die tegengesteld is aan de bronspanning.

3p **2** Leg aan de hand van de werking van een elektromotor uit waarom hij een inductiespanning opwekt.

De elektromotor is aangesloten op een bron met een (effectieve) spanning van 3,00 kV.
Als de pomp normaal functioneert, neemt de motor een stroom af van 220 A. Hij is dan in staat om per minuut 540 m^3, water uit de polder naar de omliggende wateren omhoog te pompen.
Het rendement van de pomp wordt gedefinieerd als het percentage van het door de spanningsbron geleverde vermogen dat wordt gebruikt om water omhoog te pompen.

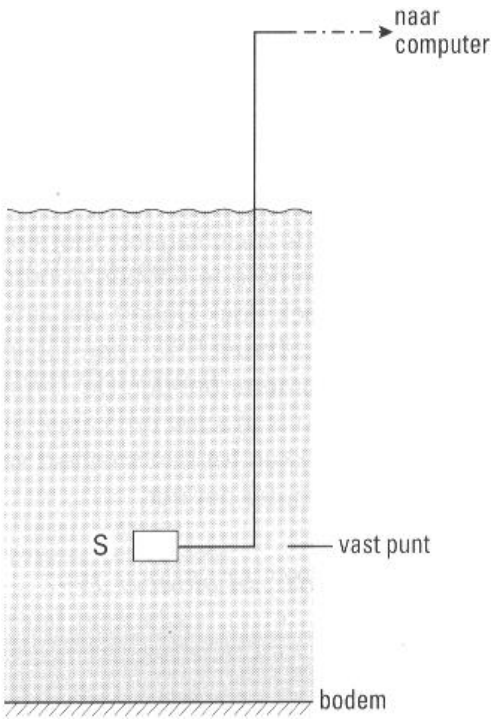
5p **3** Bereken dit rendement als de pomp normaal functioneert.

De elektrische pompen zijn in 1991 geautomatiseerd en aangesloten op een automatisch peilsysteem. Dit peilsysteem omvat diverse sensoren, die hun signalen naar een centrale computer in Lelystad sturen. Afhankelijk van deze informatie schakelt de computer de elektrische pompen in, uit, of geeft opdracht water de polder binnen te laten.

2p **4** Leg uit of dit peilsysteem een meetsysteem, een stuursysteem of een regelsysteem is.

Als sensor wordt een drukmeter gebruikt die in een sloot in de polder wordt geplaatst.
De sensor S wordt onder water op een vaste hoogte ten opzichte van de bodem bevestigd. Zie figuur 2.
De druk die deze sensor meet is de som van de atmosferische druk en de druk van de waterkolom boven de sensor. Om te corrigeren voor de atmosferische druk wordt een vaste waarde afgetrokken van de druk die S meet. Voor deze vaste waarde wordt de gemiddelde atmosferische druk genomen. Dit heeft tot gevolg dat bij het passeren van een depressie (lagedrukgebied) de waterstand in de polder op een verkeerd peil wordt gebracht.

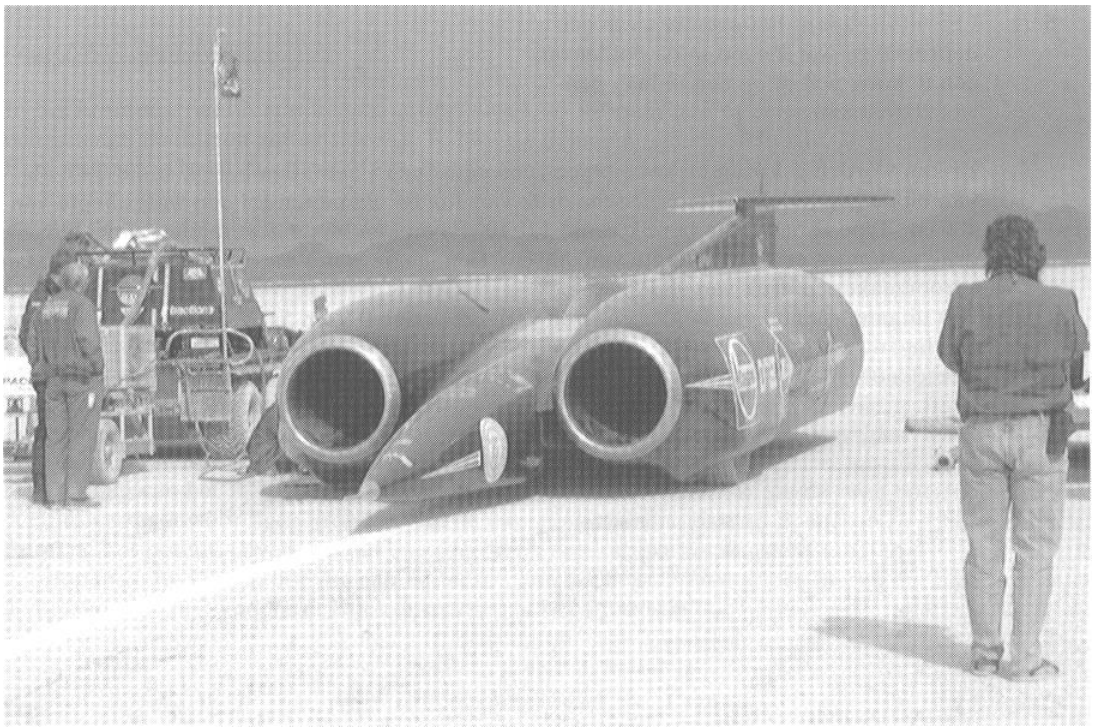
figuur 2



3p **5** □ Leg uit of tijdens het passeren van een depressie de waterstand in de polder op een te hoog peil of op een te laag peil wordt gebracht.

Er kan worden gekozen uit twee typen sensoren. Type 1 heeft een bereik vanaf 0 Pa en kan bij de gemiddelde atmosferische druk van $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa meten tot een waterdiepte van 400 cm. Type II heeft een bereik vanaf $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa en kan bij de gemiddelde atmosferische druk meten tot een waterdiepte van 900 cm. Een laagje water met een hoogte van 1,0 cm veroorzaakt een druk van 98 Pa.
Het uitgangssignaal van beide sensoren varieert tussen 0 V en 5,0 V. Beide typen sensoren zijn lineair.

4p **6** □ Beredeneer met behulp van een berekening welk type sensor de grootste gevoeligheid heeft.



Opgave 2 Snel

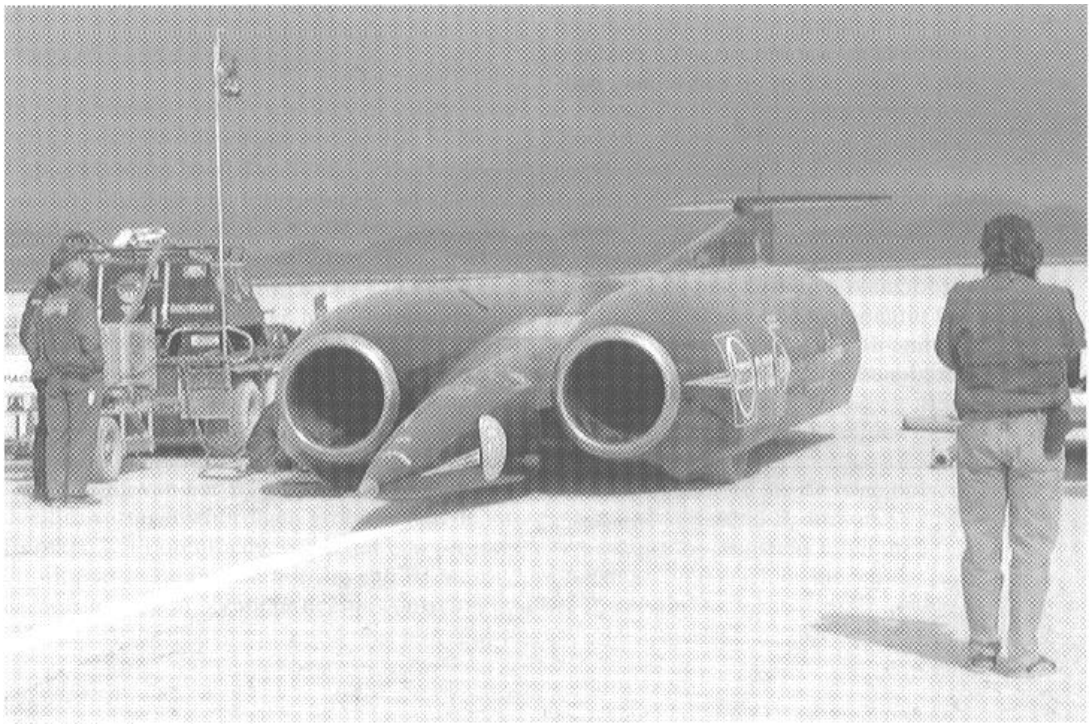
Lees het onderstaande artikel.

artikel 1

De Britse RAF-piloot Andy Green claimt voor het eerst in de geschiedenis met een auto de geluidsbarrière te hebben doorbroken. In de Black Rock Desert van Nevada haalde hij met zijn "Thrust SSC" een topsnelheid van 1223 kilometer per uur. De Thrust SSC weegt 10 ton en is in staat om vanuit stilstand in 4,0 s op te trekken tot een snelheid van 161 kilometer per uur.

Wetenschappers betwijfelen echter of Green met zijn 1223 kilometer per uur de geluidsbarrière wel echt doorbroken heeft. De geluidssnelheid is namelijk recht evenredig met de wortel uit de absolute temperatuur.
Bij 30 °C bijvoorbeeld (in de hete woestijn niet onwaarschijnlijk) geldt een waarde van 1256 kilometer per uur.

naar: NRC, 14 oktober 1997

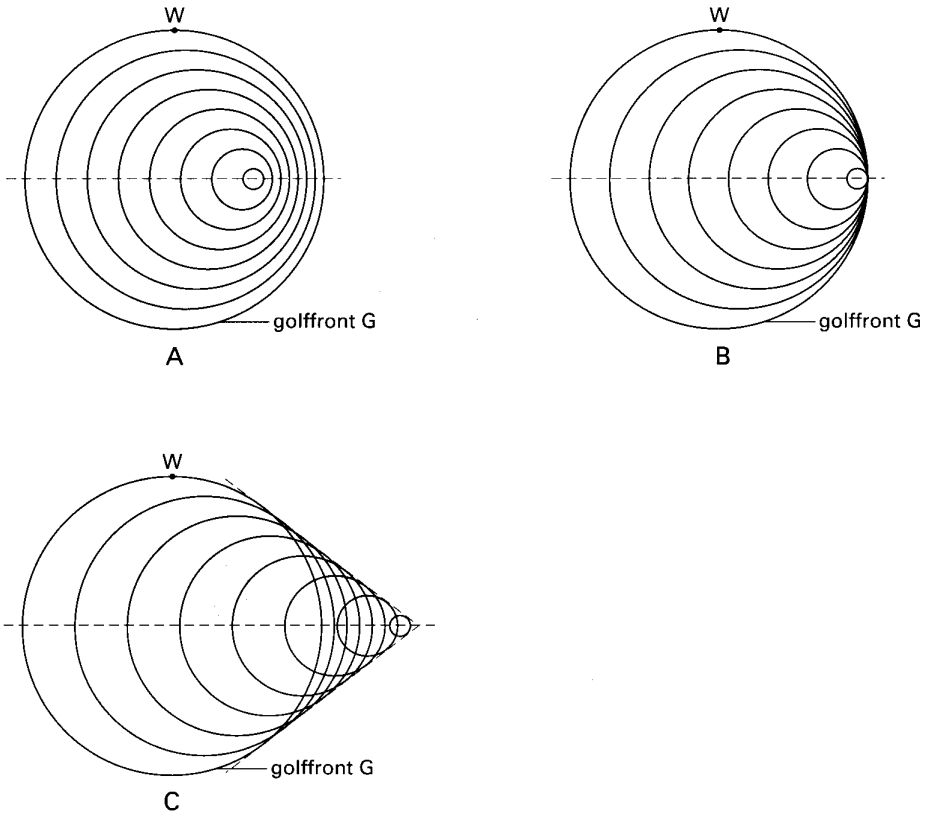


3p **7** Bereken de (gemiddelde) resulterende kracht op de auto tijdens het optrekken tot 161 km per uur.

4p **8** Geef op basis van de informatie in het artikel een formule voor het verband tussen de geluidssnelheid en de temperatuur en bereken de evenredigheidsconstante (grootte en eenheid).

De auto reed met 1223 kilometer per uur en de temperatuur was 30 °C.
In figuur 3 zie je drie schematische figuren A, B en voor de door de auto geproduceerde geluidsgolven in een periode dat hij niet deze snelheid reed.

figuur 3



De verschillende cirkels stellen golffronten voor van het geluid dat door de auto op verschillende momenten wordt geproduceerd. De verstreken tijd tussen deze momenten is steeds gelijk.

3p **9** Leg uit in welke van de figuren A, B of C deze situatie het beste is weergegeven.

Een waarnemer bevindt zich in punt W. Op een bepaald moment passeert golffront G de waarnemer.
Figuur 3 staat ook op de bijlage.

3p **10** Leg uit of de waarnemer op dat moment geluid hoort met even grote frequenties, verlaagde frequenties of verhoogde frequenties ten opzichte van de frequenties van het geluid dat de auto produceerde. Geef daartoe eerst in figuur A, B of C op de bijlage aan waar de auto zich bevond toen hij dat geluid produceerde.

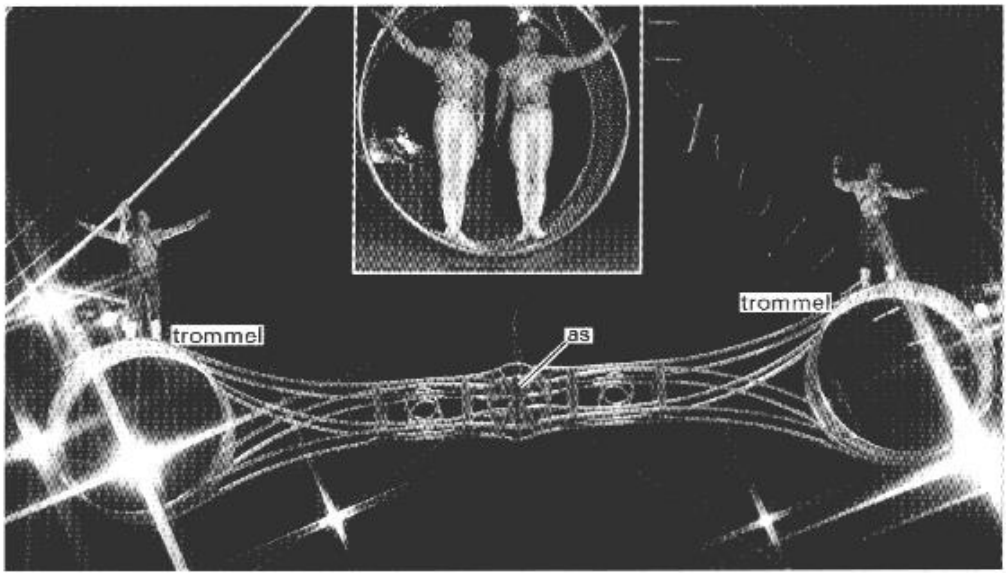
Op de foto in het artikel is de Tbrust van de voorkant gefotografeerd met een fototoestel waarvan de lens een brandpuntsafstand van 50 mm heeft. De foto is een volledige afdruk van een negatief van 36 mm bij 24 mm.
Aan weerszijden van de neus zijn de twee cirkelvormige inlaten van de straalmotoren te zien. De binnendiameter van de inlaten is 70 cm.

5p **11** Bepaal de afstand van de fotograaf tot de inlaten tijdens het maken van de foto. Geef de uitkomst in twee significante cijfers.

Opgave 3 Circusact

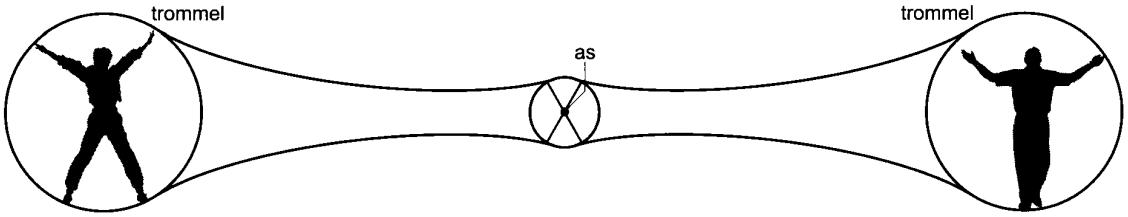
In het grootste circus van Europa voeren twee acrobaten, de Alexander Brothers, een act uit met behulp van een toestel, dat in figuur 4 is afgebeeld.

figuur 4



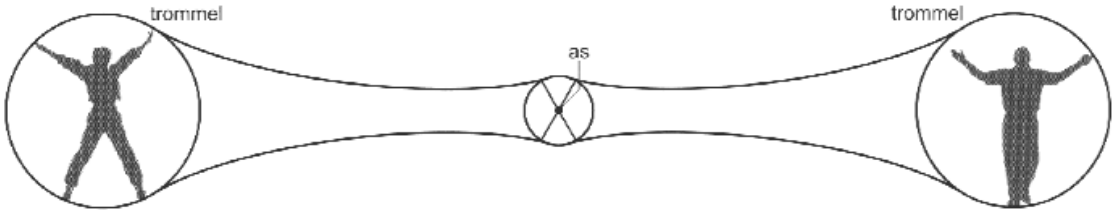
Het toestel bestaat uit twee identieke trommels, die star met elkaar verbonden zijn door middel van stangen. De trommels kunnen dus niet om hun eigen middelpunten draaien. Het toestel hangt met twee staalkabels aan de nok van de circustent. Het hele toestel kan om de aangegeven as ronddraaien in een verticaal vlak.
Bij het begin van de act bevinden de trommels zich op gelijke hoogte en staan de acrobaten op gelijke afstanden van de as. Het toestel hangt dan in evenwicht. Zie figuur 5.

figuur 5



figuur 5 herhaling

figuur 5

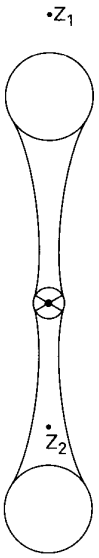


De massa van elke Alexander Brother is 90 kg. Om het toestel in beweging te krijgen, verplaatsen beiden hun zwaartepunt 80 cm in dezelfde, horizontale richting.

3p **12** □ Bereken het totale moment dat na deze verplaatsing op het toestel werkt.

Bij één van de stunts draait het toestel met een constante hoeksnelheid van 1,2 rad s^{-1} rond en lopen beide acrobaten over de buitenkant van de trommels. Daarbij blijven hun zwaartepunten steeds boven de middelpunten van hun trommels. Zie figuur 6.
Deze figuur is vergroot op de bijlage weergegeven. Daar is het zwaartepunt van de onderste acrobaat niet getekend.

figuur 6



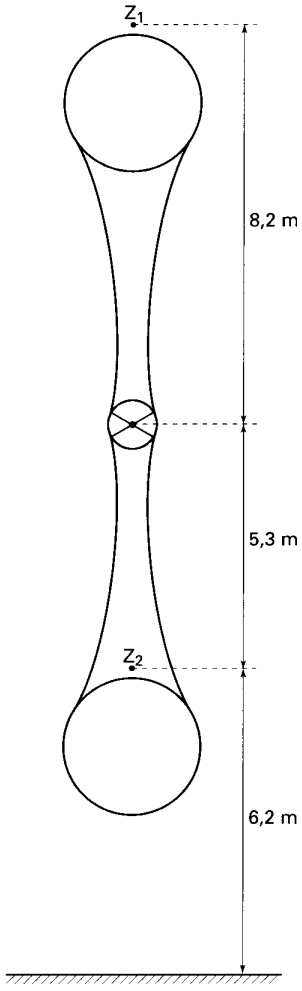
2p **13** Teken in de figuur op de bijlage de baan die het zwaartepunt Z_l beschrijft gedurende één omwenteling van het toestel.

Bij de hoeksnelheid van 1,2 rad s^{-1} komt een acrobaat in het bovenste punt van zijn baan net los van de trommel.

3p **14** Bereken de straal van de cirkel die het zwaartepunt van de acrobaat bij deze stunt doorloopt.

Bij een andere stunt laten de acrobaten het publiek schrikken. De bovenste acrobaat (acrobaat 1) laat zich plat op de trommel 'vallen' als hij zich in het hoogste punt van zijn baan bevindt. Hij houdt zich daarna stevig vast aan de trommel. Op hetzelfde moment gaat de andere acrobaat (acrobaat 2) plat op zijn trommel liggen; ook hij houdt zich daarna stevig vast aan zijn trommel. In figuur 7 is weergegeven waar de zwaartepunten van de acrobaten zich direct na hun 'val' bevinden. Het toestel heeft op dat moment een hoeksnelheid van 0,96 rad s^{-1}.
Bij de halve omwenteling die op de 'val' volgt, neemt de hoeksnelheid van het toestel toe.
Bij deze versnelling zijn de wrijvingskrachten verwaarloosbaar, zodat de wet van behoud van mechanische energie geldt. Deze wet luidt hier als volgt:

figuur 7



$$(k\omega^2 + U_z)_{voor} = (k\omega^2 + U_z)_{na}$$

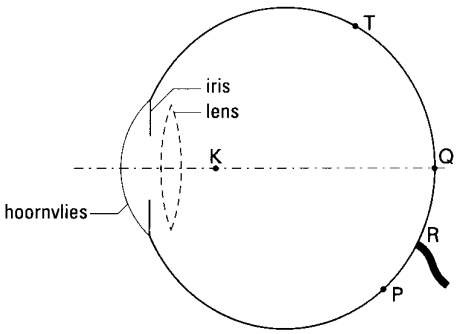
Hierin is:
- k een constante, die in deze situatie gelijk is aan $7{,}6 \cdot 10^3$ kg m^2;
- ω de hoeksnelheid van het toestel;
- U_z de totale zwaarte-energie van het toestel met de acrobaten;
- 'voor' slaat op de situatie, zoals weergegeven in figuur 7;
- 'na' slaat op de situatie een halve omwenteling later.

6p **15** Bereken de baansnelheid van de 'gevallen' acrobaat (acrobaat 1) na een halve omwenteling.
Ga daartoe eerst na waar Z_l en Z_2 zich na een halve omwenteling bevinden.

Opgave 4 Het oog

In figuur 8 is een schematische doorsnede van het oog getekend.
Een bundel licht die het hoornvlies passeert, wordt vervolgens begrensd door de iris. Achter de iris is met streepjeslijnen de ooglens aangegeven.
In ongeaccommodeerde toestand draagt de ooglens nauwelijks bij tot de breking van lichtstralen. Breking treedt dan vooral op bij het hoornvlies, dus bij de overgang van lucht naar het oog. Het hoornvlies heeft een bolvormig oppervlak met middelpunt K. Zie figuur 8.

figuur 8



Door een normaal, ongeaccommodeerd oog wordt in punt P op het netvlies een scherp beeld gevormd van een ver verwijderd voorwerp. Bij deze beeldvorming valt een bundel licht op het hoornvlies en wordt geconvergeerd in P. Figuur 8 is (zonder lens) vergroot weergegeven op de bijlage.

4p **16** Teken in de figuur op de bijlage deze door de iris begrensde bundel. Neem aan dat de breking alleen bij het hoornvlies plaatsvindt.

In ongeaccommodeerde toestand heeft het oog van een kind een sterkte S_0 van 59 dioptrie. Het kind kan hieraan een extra sterkte ΔS van 14 dioptrie toevoegen door te accommoderen.

4p **17** Bereken de afstand van het nabijheidspunt tot het oog van dit kind.

Door middel van drie experimenten wordt de gevoeligheid van de zenuwcellen op het netvlies voor licht en donker en voor kleur onderzocht. In zo'n experiment toont men een proefpersoon vlak na elkaar twee even heldere stippen. Eerst toont men een rode stip en even daarna een groene. Beide stippen vormen een beeld op dezelfde plaats op het netvlies. Bij elk experiment worden óf alleen de zenuwcellen bij T, of alleen bij Q, óf alleen bij R belicht. Zie opnieuw figuur 8.
Punt Q geeft de plaats aan van de gele vlek. Punt R geeft de plaats aan waar de zenuwvezels die van de receptoren afkomstig zijn de oogbol verlaten. Punt T is willekeurig gekozen aan de rand van het netvlies.
De waarnemingen die de proefpersoon achtereenvolgens doet, beschrijft hij als volgt:

waarneming 1: Ik heb twee even heldere stippen gezien, zonder kleurverschil.
waarneming 2: Ik heb geen stippen gezien.
waarneming 3: Ik heb eerst een rode en daarna een even heldere groene stip gezien.

3p **18** Leg uit in welke volgorde de punten T, Q en R in deze experimenten zijn belicht.

Opgave 5 Wetenschapsquiz

In de Nationale Wetenschapsquiz van 1997 kwam de volgende vraag voor over de snelheid van de geleidingselektronen in een koperdraad:

tekst 1

Een lamp is met twee koperdraden van 1 meter lengte en een doorsnede van 2 millimeter verbonden aan een accu.
Er loopt een stroom van 1 ampère door de draden.
Hoe lang doet een elektron er over om van de stroombron naar de lamp te komen?
a. ***Ongeveer 3 miljardste van een seconde.***
b. ***Ongeveer een halve dag.***
c. ***Niet te zeggen, want het hangt af van de spanning.***

In de vraag wordt met de 'doorsnede' de diameter van de draad bedoeld.

4p **19** Bereken de spanning over één stuk koperdraad tussen de accu en de lamp in de beschreven situatie.

Het juiste antwoord op de vraag van de wetenschapsquiz is ***b***: "Ongeveer een halve dag". De geleidingselektronen in de koperdraad vormen samen een zogenoemd "elektronengas". Als er een gelijkspanning over de draad staat, verplaatst dit elektronengas zich met een kleine snelheid door de draad. In de schakeling die de quiz beschrijft, is deze snelheid 0,02 mm s^{-1}. Deze snelheid kan met behulp van de formule $I = Q / t$ worden berekend.

Hierin is I de stroomsterkte en Q de hoeveelheid elektrische lading die in een periode t een dwarsdoorsnede van de draad passeert.
Per mm^3 koper zijn hiervoor $1 \cdot 10^{20}$ geleidingselektronen beschikbaar.

5p **20** Controleer de opgegeven snelheid van het elektronengas met behulp van de formule $I = Q / t$.

De organisatoren van de quiz maakten bij de uitleg van het juiste antwoord gebruik van een model. Een geleidingselektron wordt in dat model voorgesteld als een bolletje dat eenparig in de lengterichting van de draad beweegt.
Uitgaande van dit model beweert Arie dat je met een experiment kunt controleren of afzonderlijke geleidingselektronen inderdaad een snelheid hebben van 0,02 mm s^{-1}. Volgens hem is het mogelijk om van één elektron voldoende nauwkeurig de plaats in de draad als functie van de tijd te bepalen.
Berrie spreekt dat tegen. Hij denkt namelijk dat je niet tegelijkertijd kunt weten dat een elektron in de draad aanwezig is én dat het zo langzaam beweegt. Hij beroept zich daarbij op de onzekerheidsrelatie van Heisenberg.
Neem aan dat de onzekerheid in de plaats van een elektron in de koperdraad dezelfde orde van grootte heeft als de diameter van de draad.

4p **21** Leg met behulp van een berekening met de onzekerheidsrelatie van Heisenberg uit of Berrie gelijk heeft.

De snelheid van de elektronen waarover het in de quizvraag gaat, heet de "driftsnelheid". Dit is de snelheid waarmee de geleidingselektronen bij een elektrische spanning over de draad afdrijven in de richting van de hoogste potentiaal.

2p **22** Leg uit dat bij het gebruik van wisselspanning de driftsnelheid nul is.

Opgave 6 B_c-meson

Lees het artikel.

artikel 2

Fysici van het Fermilab in Chicago hebben devondst van een nieuw meson bekend gemaakt. Het nieuwe, zogenoemde B_c-meson heeft een 'levensduur' van 0,46 picoseconde. De massa van een B_c-meson komt overeen met een energie van 6,4 GeV.
Het B_c-meson is waargenomen bij experimenten in de zeer krachtige Tevatron-deeltjesversneller. In deze versneller laat men protonen en antiprotonen met grote energie op elkaar botsen. Het nieuwe (instabiele) meson blijkt soms voor te komen in de vervalproducten die na de botsingen ontstaan.

Uit een analyse van de meetgegevens van in totaal 100 miljoen botsingen bleek dat in 19 gevallen sprake moest zijn van een B_c-meson.

Een meson is opgebouwd uit een combinatie van een quark en een antiquark. Quarks zijn er in zes soorten (up, down, strange, charm, bottom en top). Van elk quark bestaat een antiquark'. Het B_c-meson bestaat uit een combinatie van een charm-quark met een anti-bottom-quark.

naar: NRC, april 1998

In het krantenartikel is sprake van antiprotonen en antiquarks. Het enige verschil tussen een geladen deeltje en zijn antideeltje is dat hun ladingen tegengesteld zijn.
Een antiproton heeft dus dezelfde massa als een proton en een lading -e.

3p **23** Bepaal de lading van het B_c-meson.

3p **24** Bereken de massa van het B_c-meson in kg.

De massa's van een stilstaand proton en een stilstaand antiproton vertegenwoordigen samen minder energie dan de massa van een B_c-meson. Daarom laat men protonen en antiprotonen in de Tevatron-versneller een even groot maar tegengesteld potentiaalverschil doorlopen. Hierdoor wordt aan beide soorten deeltjes dezelfde hoeveelheid energie toegevoerd voor ze op elkaar botsen.
De vorming van het B_c-meson is alleen mogelijk als de totale energie die de twee botsende deeltjes vertegenwoordigen groter is dan de energie van een stilstaand B_c-meson.

5p **25** Bereken het potentiaalverschil dat een proton en een antiproton minstens moeten doorlopen zodat bij een botsing een B_c-meson kan ontstaan. Verwaarloos hierbij dat bij de botsing ook nog andere deeltjes ontstaan dan het B_c-meson.

Einde.

Foton De nieuwe natuurkundemethode voor de bovenbouw
Theorie, oefenopgaven, antwoorden in één overzichtelijk boek inclusief SE-keuzeonderwerpen
Betaalbaar: € 35,- voor de complete stof. Meer info: natuurkundeuitgelegd.nl