Examen VWO

2018

tijdvak 1
donderdag 24 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 26 vragen.
Voor dit examen zijn maximaal 72 punten te behalen.
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.

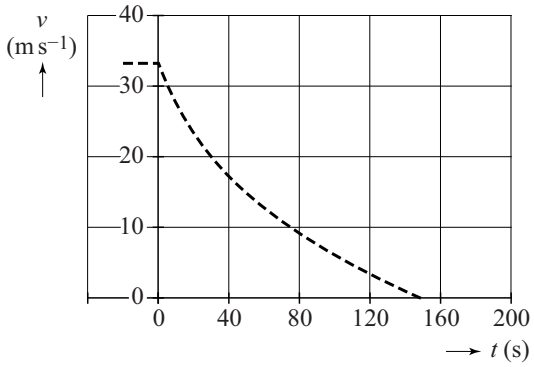
VW-1023-a-18-1-o

natuurkundeuitgelegd.nl

Uitrijden van een auto

Een auto ($m = 1520$ kg) rijdt met een snelheid van $33{,}3\ \mathrm{m\,s^{-1}}$ ($= 120\ \mathrm{km\,h^{-1}}$) over een vlakke weg bij windstil weer. Op $t = 0$ s trapt de bestuurder het koppelingspedaal in, zodat de motor niet meer met de wielen verbonden is. Nu 'rijdt de auto uit' en komt de auto een tijdje later tot stilstand. Het (v,t)-diagram van het uitrijden staat in figuur 1.

figuur 1



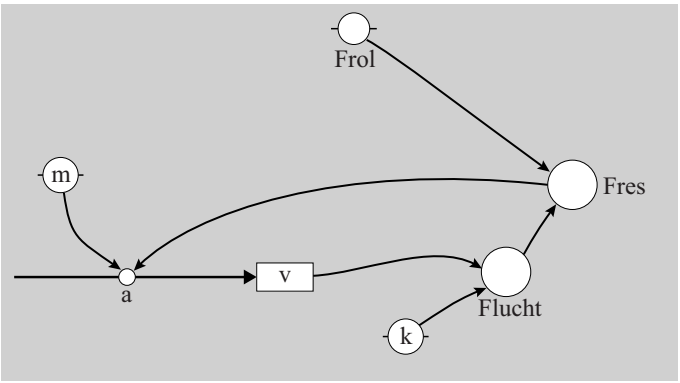
De uitrij-afstand is de afstand die de auto aflegt vanaf het moment dat het uitrijden begint tot het moment dat hij stilstaat. Figuur 1 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

3p **1** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de uitrij-afstand.

Om inzicht te krijgen in de beweging van de auto, is een computermodel gemaakt. Het model is weergegeven in figuur 2.

figuur 2

model	startwaarden (in SI-eenheden)
$F_{lucht} = k \cdot v^2$ $F_{res} = F_{lucht} + F_{rol}$ $a = -F_{res} / m$ $dv = a \cdot dt$ $v = v + dv$ $t = t + dt$	$t = 0$ $dt = 0{,}01$ $v = 33{,}3$ $m = 1520$ $k = 1{,}62$ $F_{rol} = 76$

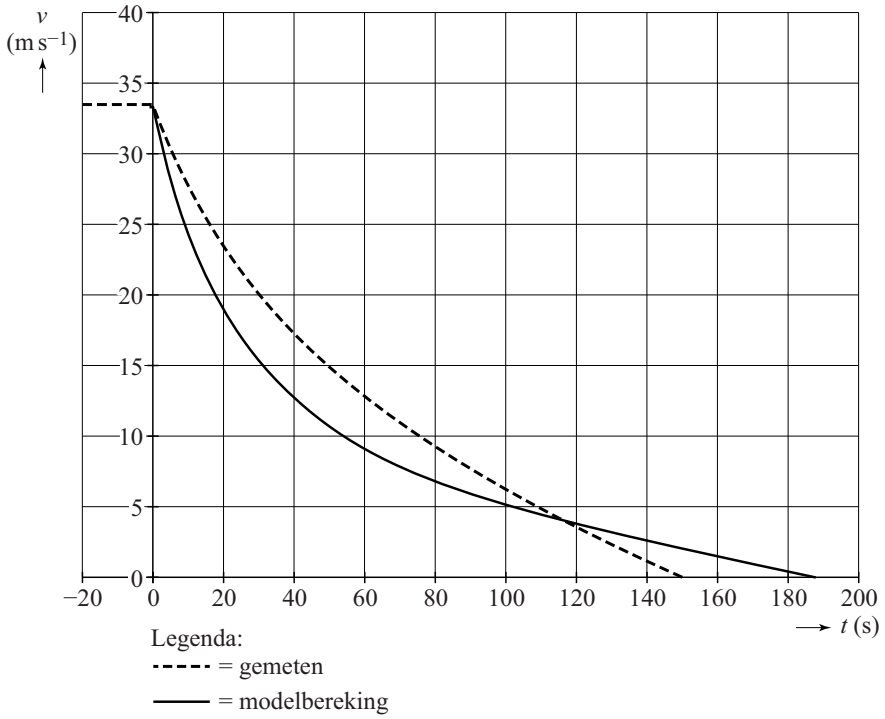


natuurkundeuitgelegd.nl

2p **2** Leid de eenheid van de evenredigheidsconstante k af in basiseenheden (grondeenheden) van het SI, zoals ze staan in BiNaS-tabel 3A en ScienceData-tabel 1.3a.

De resultaten van dit model zijn weergegeven in figuur 3.
In figuur 3 staat ook de grafiek van figuur 1.

figuur 3



De waarden van de parameters k en F_{rol} zijn nog niet goed gekozen, zodat de grafiek met de resultaten van het model niet goed overeenkomt met de gemeten grafiek van figuur 1.

4p **3** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of de startwaarde van k groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.
- Leg uit of de startwaarde van F_{rol} groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.

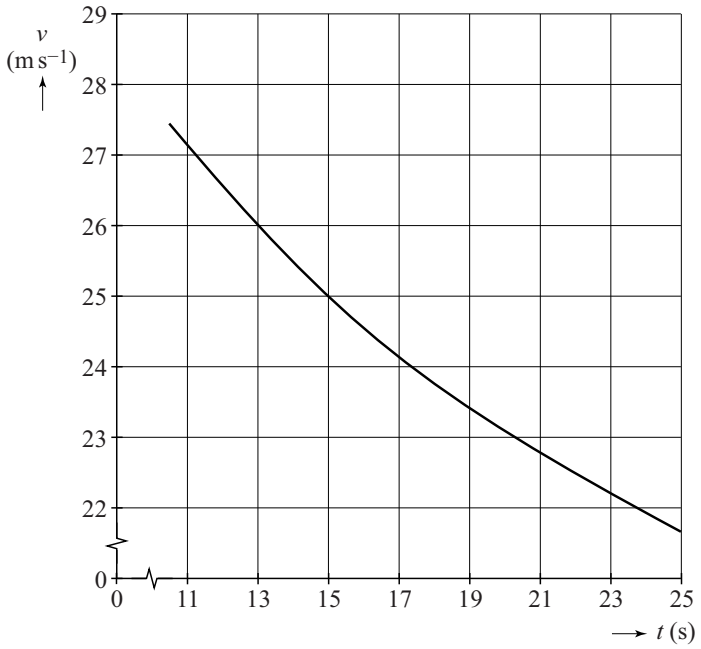
Het model van figuur 2 kan worden uitgebreid om ook de uitrij-afstand te berekenen, waarbij het model stopt als de uitrij-afstand bereikt is.

2p **4** Voer de volgende opdrachten uit:
- Beschrijf welke modelregel(s) moet(en) worden toegevoegd.
- Beschrijf welke stopvoorwaarde moet worden toegevoegd.

natuurkundeuitgelegd.nl

Met de nieuwe, aangepaste startwaarden voor k en F_{rol} past de uitkomst van het model wel bij de metingen.
Figuur 4 laat een deel van de (v,t)-grafiek zien die het aangepaste model geeft. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



Uit deze figuur is het vermogen te bepalen dat de auto moet leveren om met een bepaalde constante snelheid te rijden.

5p **5** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het vermogen dat de motor moet leveren bij een constante snelheid van $25\ \text{m s}^{-1}$ $(= 90\ \text{km h}^{-1})$.

natuurkundeuitgelegd.nl

Water uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Water is een noodzakelijke voorwaarde voor leven op onze planeet. Volgens veel wetenschappers is water niet op aarde ontstaan, maar is het op aarde ‘aangeleverd’ door een groot aantal inslagen van kometen, planetoïden en meteoren. Deze bevatten ijs dat oorspronkelijk in koude interstellaire gaswolken met een temperatuur van $10\ \mathrm{K}$ is gevormd.

Een komeet met een massa van $12 \cdot 10^3\ \mathrm{kg}$ beweegt op een hoogte van $100\ \mathrm{km}$ boven het aardoppervlak met een snelheid van $50\ \mathrm{km\,s^{-1}}$ richting de aarde.
Bij aankomst op de aarde is de massa van de komeet afgenomen tot $6{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{kg}$. Het totaal van de kinetische energie en de gravitatie-energie is dan nog slechts $0{,}20\%$ van de oorspronkelijke totale energie.
(Het verschil in gravitatie-energie ten opzichte van de zon is bij deze overgang verwaarloosbaar.)

5p **6** Bereken met welke snelheid de komeet op de aarde aankomt.

Een komeet zendt IR-straling uit. Het spectrum daarvan bestaat uit een deel met lijnen en een continu deel. Uit het spectrum kan men meer te weten komen over de temperatuur en de chemische samenstelling van de komeet.
Op de uitwerkbijlage staat een tabel.

2p **7** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met een kruisje voor elk deel van het spectrum aan, of daarmee de chemische samenstelling of de temperatuur van de komeet te bepalen is, of geen van beide.

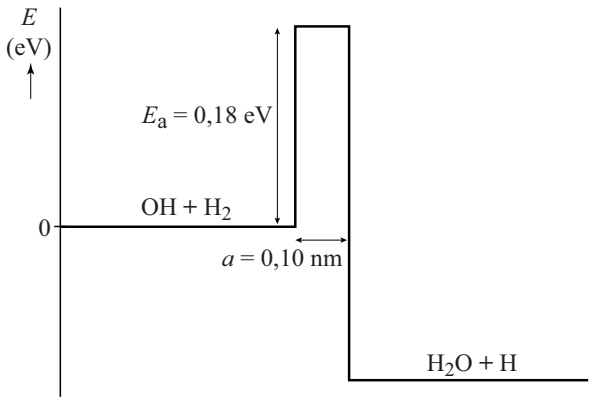
Uit spectroscopische analyses van een aantal kometen en planetoïden blijkt dat deze water bevatten met dezelfde isotopenverhouding van waterstof ($^1_1\mathrm{H}$) en deuterium ($^2_1\mathrm{D} = {}^2_1\mathrm{H}$) als op aarde.
Men neemt aan dat water gevormd is in ‘interstellaire wolken’ bij een temperatuur van $10\ \mathrm{K}$. Eén van de reacties voor watervorming is:

(1) $\mathrm{OH + H_2 \rightarrow H_2O + H}$

natuurkundeuitgelegd.nl

Deze reactie vindt plaats aan het oppervlak van microscopische stofdeeltjes waarbij ijsmantels om de stofdeeltjes worden gevormd. Zoals bij veel reacties moet ook bij deze reactie een activeringsenergie E_a overwonnen worden.
Zie figuur 1.

figuur 1



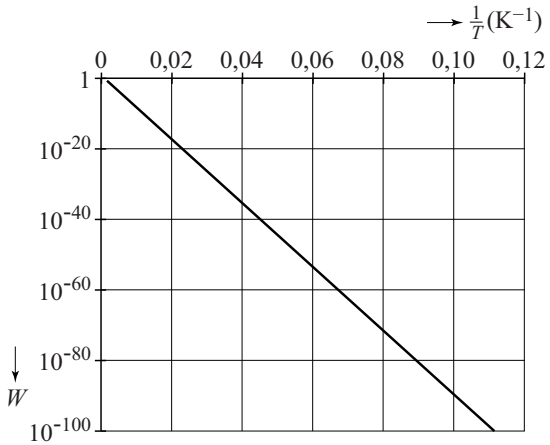
Over deze reactie zijn twee theorieën opgesteld.

- **theorie 1**
  De activeringsenergie E_a wordt geleverd door de thermische energie van de betrokken deeltjes. Bij 2100 K hebben de deeltjes een gemiddelde thermische energie van $0{,}18$ eV.
- **theorie 2**
  De energiebarrière wordt doorbroken door het quantum-tunneleffect.

over theorie 1

De waarschijnlijkheid W dat de reactie optreedt volgens theorie 1 is alleen afhankelijk van de temperatuur T. In figuur 2 is deze waarschijnlijkheid W weergegeven als functie van $\frac{1}{T}$

figuur 2



4p **8** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal met behulp van figuur 2 de verhouding van de waarden van W bij 10 K en bij 2100 K.
- Leg hiermee uit dat theorie 1 geen goede verklaring geeft voor het ontstaan van water bij 10 K.

natuurkundeuitgelegd.nl

over theorie 2

Als een H_2-deeltje en een OH-deeltje zich voldoende dicht bij elkaar aan het oppervlak van een vast stofdeeltje bevinden, kan er een reactie door het quantum-tunneleffect plaatsvinden. In deze reactie 'verhuist' een H-atoom van het H_2-deeltje naar het OH-deeltje, over een afstand $a = 10^{-10}$ m.

Voor deeltjes met een massa m geldt voor de debroglie-golflengte λ in een omgeving met temperatuur T:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\pi m k_B T}}$$

Hierin is:
- k_B de constante van Boltzmann;
- h de constante van Planck.

3p **9** Leg met behulp van deze formule en met figuur 1 uit of er onder deze omstandigheden een redelijke kans is op het quantum-tunneleffect.

Wetenschappers onderzoeken deze reactie in een laboratorium. Ze vervangen daarbij alle waterstofkernen (^1_1H) door deuteriumkernen ($^2_1D = {}^2_1H$). Dit levert de volgende reactie:

(2) $OD + D_2 \rightarrow D_2O + D$

Voor reactie (2) zijn de hoogte en de breedte van de energiebarrière gelijk aan die van reactie (1), zoals weergegeven in figuur 1. Maar reactie (2) heeft een andere kans op het quantum-tunneleffect dan reactie (1).

2p **10** Leg uit of de kans dat het quantum-tunneleffect optreedt met deuteriumkernen groter of kleiner is dan met waterstofkernen.

Tim heeft moeite met theorie 2. Hij zegt: "In figuur 1 blijven de hoogte en breedte van de energiebarrière constant, dus je kunt net zo makkelijk 'terug-tunnelen' en dan wordt het water weer even snel afgebroken."

2p **11** Leg uit of Tim gelijk heeft.

Water maakt leven op een planeet mogelijk. In tabel 32H van BiNaS en in tabel 3.1a van ScienceData wordt het verband gegeven tussen de temperatuur van het heelal en de tijd sinds de oerknal.
Ewine stelt dat het heelal oud genoeg moet zijn voor het vormen van water volgens theorie 2.

2p **12** Leg uit dat Ewine gelijk heeft.

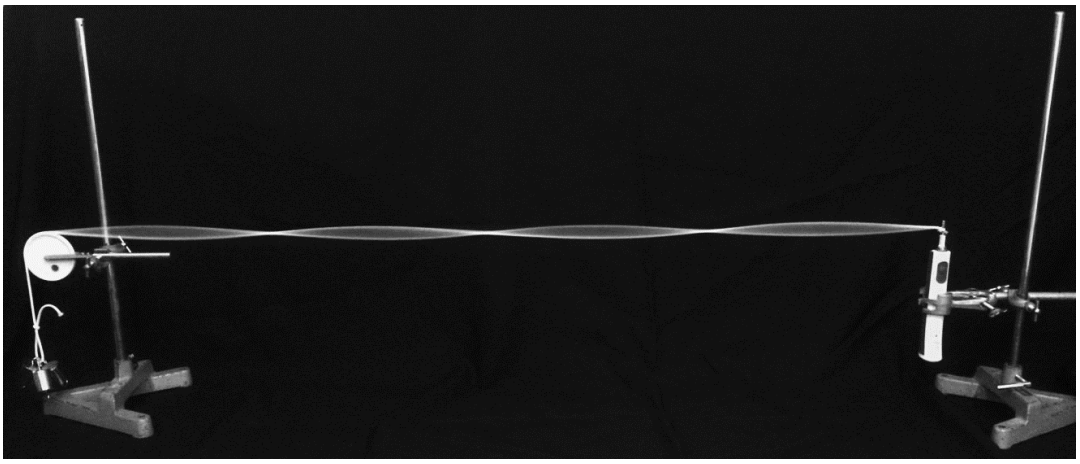
natuurkundeuitgelegd.nl

Elektrische tandenborstel

Figuur 1 is een foto van een elektrische tandenborstel. Hierin is een trilmechanisme verwerkt. Ludo wil de frequentie waarmee dit trilmechanisme trilt bepalen. Hij bouwt hiertoe de opstelling zoals weergegeven in figuur 2. De tandenborstel is hier in een statief geklemd en het borsteltje is verwijderd. Aan het trillende deel van het apparaat is een koord bevestigd, dat over een katrol is gelegd en strak wordt gehouden door het gewicht van een aantal blokjes met een totale massa m.
Als Ludo de tandenborstel aanzet, kan er een staande golf ontstaan in het koord.

figuur 1

figuur 2



Ludo bepaalt voor een aantal waarden van m steeds de lengte L en het aantal buiken n. L is de afstand van de tandenborstel tot de katrol.
Zijn meetresultaten staan in de tabel hieronder.

m (kg)	L (m)	n
0,100	1,26	9
0,200	1,50	6
0,300	1,44	5
0,400	1,62	5
0,500	1,43	4

Van de meetresultaten maakt Ludo de grafiek van figuur 3, waarin hij de golflengte λ uitzet tegen de spankracht F in het koord.

natuurkundeuitgelegd.nl

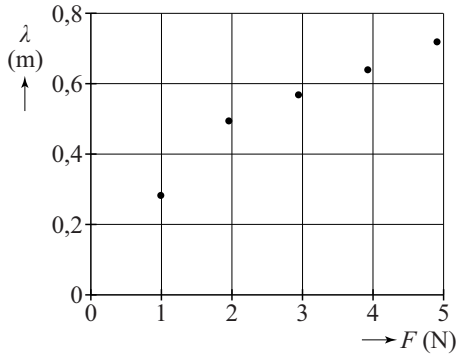
3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Laat met een berekening zien dat de waarden van de eerste meting ($m = 0{,}100\ \text{kg}$) juist in de grafiek zijn gezet.
- Geef aan hoe uit de grafiek volgt dat er geen recht evenredig verband is tussen de golflengte en de spankracht.

Voor de voortplantingssnelheid van een transversale golf in een koord geldt:

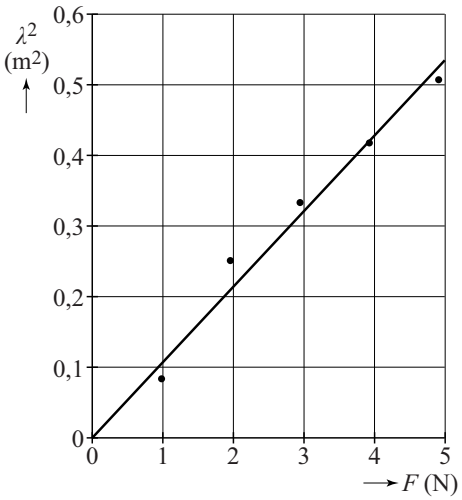
$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$$

Hierin is:
- v de voortplantingssnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- ρ_ℓ de lineaire massadichtheid van het koord (in kg m^{-1}).

figuur 3



figuur 4



Voor de verdere verwerking van zijn meetresultaten maakt Ludo een grafiek waarbij hij λ^2 uitzet tegen de spankracht F. Daarna trekt hij een rechte lijn, die zo goed mogelijk door de punten gaat. Het resultaat is in figuur 4 weergegeven. Met behulp van de rechte lijn bepaalt hij de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel.

1p **14** Waarom is het nauwkeuriger om de rechte lijn te gebruiken dan één van de meetpunten?

Het koord heeft een lineaire massadichtheid van $1{,}24 \cdot 10^{-4}\ \text{kg m}^{-1}$.

4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid onder andere met de gegeven formule af, dat de steilheid van de (λ^2, F)-grafiek gelijk is aan $\dfrac{1}{\rho_\ell f^2}$.
- Bepaal met behulp van deze steilheid de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel die uit deze metingen volgt.

Ludo wil bij dezelfde frequentie minder knopen en buiken laten ontstaan in dit koord.

2p **16** Noem twee grootheden die Ludo daartoe kan aanpassen en geef van beide grootheden apart aan of die groter of kleiner moeten worden.

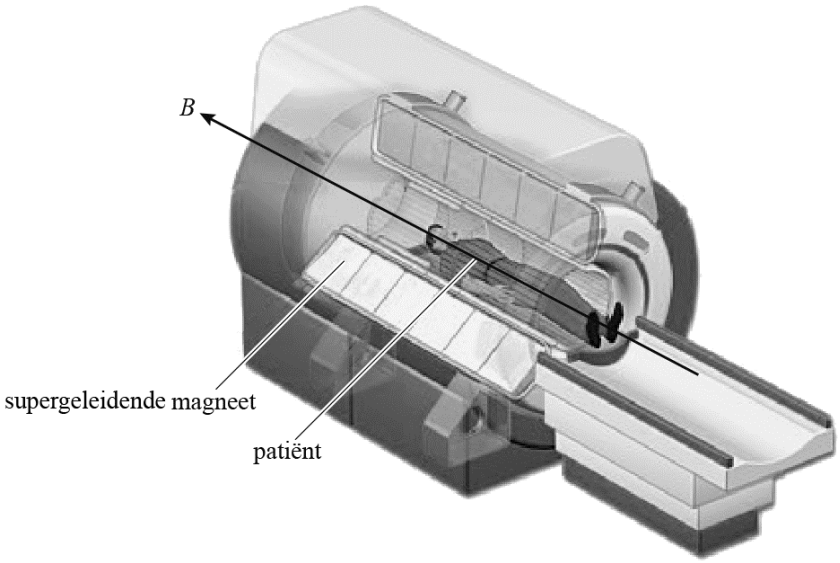
natuurkundeuitgelegd.nl

Ga verder op de volgende pagina.

natuurkundeuitgelegd.nl

Een MRI-scanner kan 3D-beelden van het inwendige van een patiënt maken. Daarbij wordt gebruikgemaakt van een sterk magnetisch veld B en van radiogolven. Zie figuur 1 voor een opengewerkte afbeelding van een MRI-scanner.

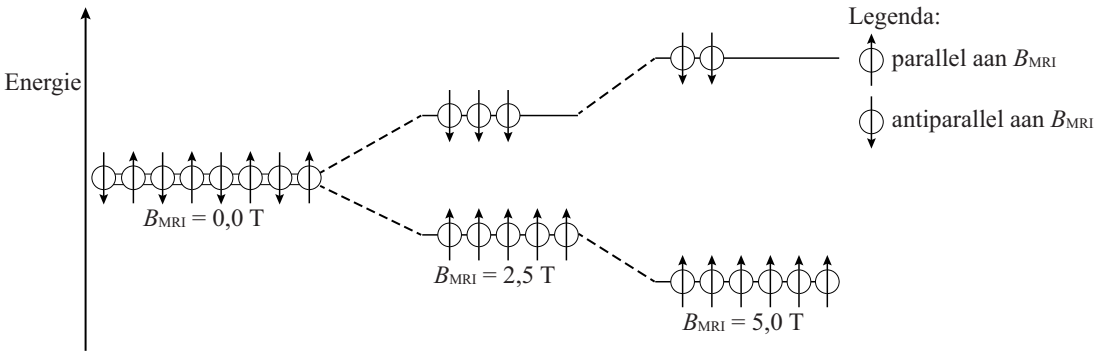
figuur 1



2p **17** Leg uit dat een MRI-scan veiliger is voor de patiënt dan een CT-scan.

De waterstofkernen (protonen) in het lichaam van een patiënt gedragen zich als kleine magneetjes. Deze richten zich als er een magnetisch veld B_{MRI} wordt aangelegd. De waterstofkernen kunnen dan in dezelfde richting als B_{MRI} staan (parallel) of tegengesteld aan B_{MRI} (antiparallel). De waterstofkernen parallel aan B_{MRI} bevinden zich in een lager energieniveau dan de kernen antiparallel aan B_{MRI}. In het lage energieniveau zitten meer waterstofkernen dan in het hoge energieniveau. Bij een sterker magnetisch veld is er een groter overschot aan waterstofkernen in het lage energieniveau.
Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2



natuurkundeuitgelegd.nl

Voor het energieverschil tussen de waterstofkernen die parallel aan B_{MRI} en de waterstofkernen die antiparallel aan B_{MRI} staan, geldt:

$$\Delta E = \gamma h B_{\text{MRI}}$$

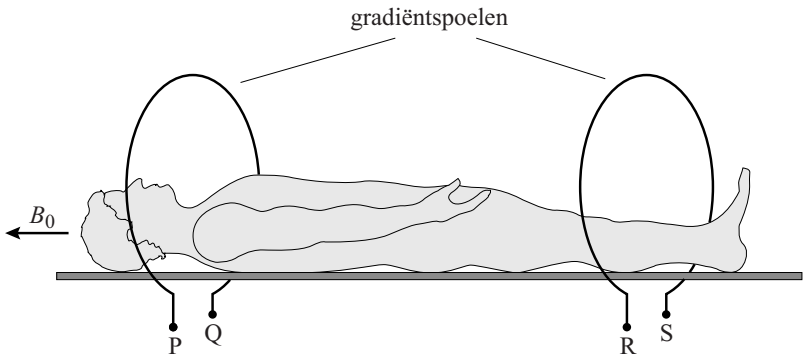
Hierin is:
- γ een constante die voor waterstof gelijk is aan: $42{,}57\ \text{MHz T}^{-1}$;
- h de constante van Planck in J s;
- B_{MRI} de sterkte van het magnetisch veld in T.

Er wordt nu een RF-puls (Radio Frequente puls, puls van radiostraling) naar de patiënt gezonden met fotonen die precies de energie ΔE hebben die nodig is om de waterstofkernen in het hoge energieniveau te brengen.

2p **18** Bereken de frequentie die de RF-puls moet hebben bij een magnetisch veld van $5{,}0\ \text{T}$.

Het magnetisch veld B_{MRI} bestaat uit een constant magnetisch veld B_0 en het zogenaamde gradiëntveld B_{g}. B_{g} heeft dezelfde richting als B_0 of is tegengesteld aan B_0 en is niet op elke plaats even sterk.
Er geldt: $B_{\text{MRI}} = B_0 + B_{\text{g}}$.
Het gradiëntveld B_{g} wordt opgewekt door stroom te sturen door twee spoelen. Zie figuur 3 voor een schematische weergave. Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



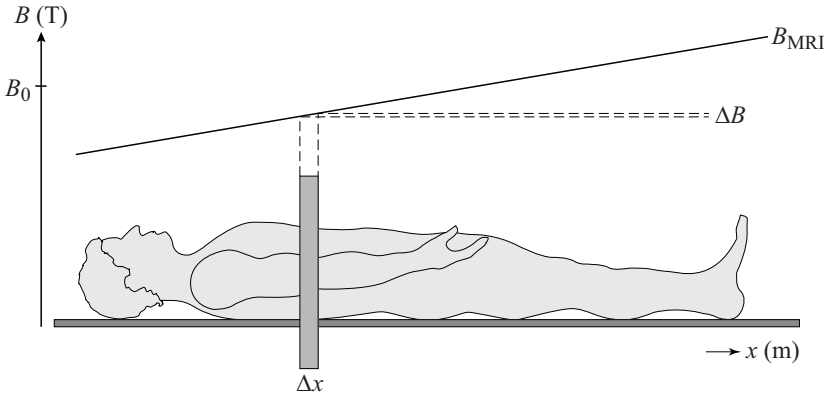
Op een bepaald moment stelt men het gradiëntveld in figuur 3 zodanig in dat het totale magnetisch veld B_{MRI} bij het hoofd van de patiënt minder sterk is dan B_0 en bij de voeten sterker is dan B_0.

3p **19** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage voor elke gradiëntspoel aan:
- de richting van het magnetisch veld dat het gradiëntveld levert;
- de richting van de stroom;
- de polariteit van de aansluitingen (plus of min bij P, Q, R en S).

natuurkundeuitgelegd.nl

In figuur 4 staat het verloop op een bepaald moment van het totale magnetisch veld B_{MRI} schematisch weergegeven. De patiënt blijft op dezelfde plaats liggen. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



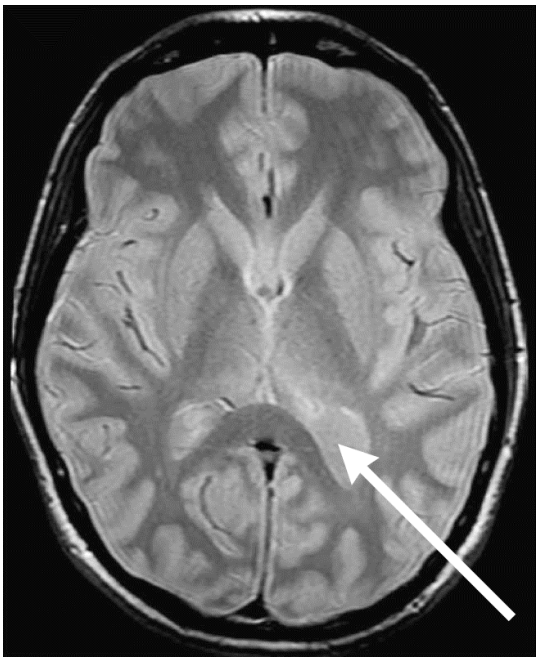
De RF-puls heeft een vaste frequentie zoals in vraag 18 berekend en een vaste bandbreedte. Door deze vaste bandbreedte worden waterstofkernen in een gebiedje ΔB naar het hoge energieniveau gebracht.
Hierdoor worden fotonen geabsorbeerd en even later geëmitteerd door waterstofkernen uit een plakje Δx.
De plaats in het lichaam en de dikte van het plakje Δx zijn in te stellen door het gradiëntveld B_g te variëren. Het veld B_0 blijft daarbij constant.

Men verandert het gradiëntveld B_g zodat het plakje Δx dunner wordt **en** bij het hoofd van de patiënt komt te liggen.

2p **20** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe B_{MRI} daartoe nu verloopt.

Na het uitschakelen van de RF-puls zenden de waterstofkernen gedurende een aantal milliseconden een signaal uit. Weefsels met veel waterstofkernen geven een signaal met een hoge intensiteit en zijn het witst op een MRI-beeld. Zie figuur 5. Hersenweefsel heeft ongeveer 80% van de waterstofkernendichtheid van water. Andere weefsels hebben een kleinere waterstofkernendichtheid.

figuur 5



2p **21** Leg uit of er bij de pijl in figuur 5 hersenweefsel zit of ander weefsel.

natuurkundeuitgelegd.nl

Energievoorziening voor een weerstation

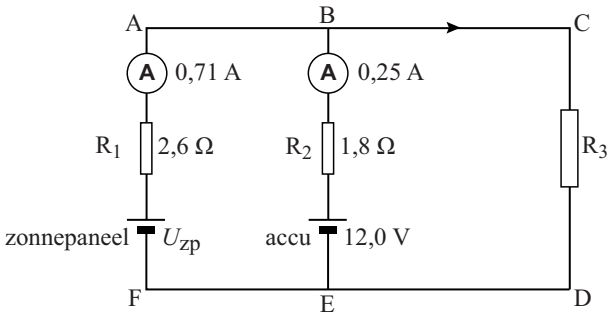
Een afgelegen weerstation is gedurende het hele jaar vierentwintig uur per dag in bedrijf. De installatie wordt van energie voorzien door een 12-volts-accu.

Het elektrisch vermogen van de installatie varieert sterk en bedraagt gemiddeld 2,3 W.
Een volledig opgeladen accu heeft een capaciteit van 75 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen accu gedurende 1,0 uur een stroom van 75 A kan leveren, of gedurende 3,0 uur een stroom van 25 A, enzovoorts.)
Deze accu voldoet niet om de installatie één jaar te laten werken.

3p **22** Bereken het aantal volledig opgeladen accu's dat in één jaar nodig zou zijn als ze niet tussentijds worden opgeladen.

Overwogen wordt om naast de accu een zonnepaneel in de schakeling op te nemen. Hiertoe wordt een proefopstelling gebouwd. Zie figuur 1.

figuur 1



De installatie van het weerstation is weergegeven door een gewone weerstand, aangegeven met R_3. Het zonnepaneel staat in de schakeling parallel aan de accu.
Bij een bepaalde lichtsterkte op het zonnepaneel leveren beide spanningsbronnen stroom aan de weerstand R_3 en worden de in figuur 1 weergegeven stroomsterktes gemeten.

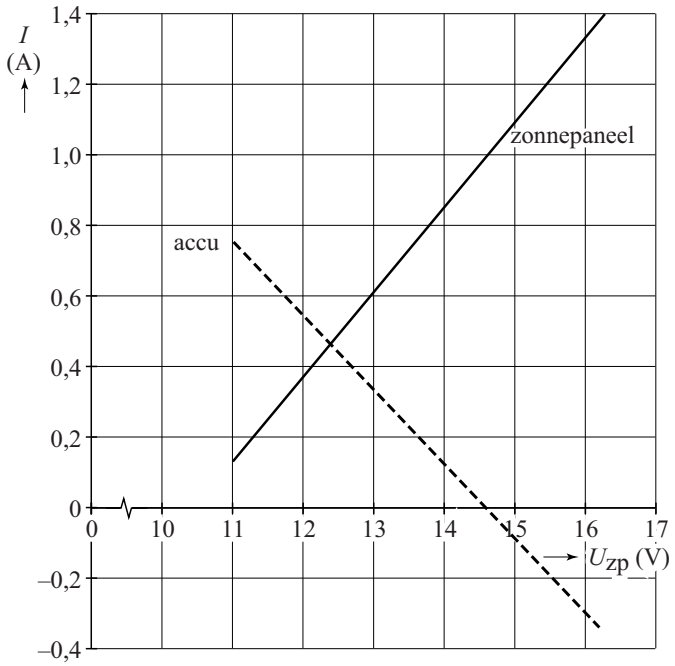
4p **23** Bereken het vermogen dat in dat geval aan weerstand R_3 geleverd wordt.

3p **24** Bereken de spanning U_{zp} van het zonnepaneel bij deze lichtsterkte.
Gebruik hierbij de spanningswet van Kirchhoff.

natuurkundeuitgelegd.nl

De spanning van het zonnepaneel hangt af van de hoeveelheid (zon)licht. Als de hoeveelheid licht toeneemt, neemt U_{zp} toe. Als U_{zp} verandert, blijken zowel de stroom die het zonnepaneel levert als de stroom die de accu levert te veranderen. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



3p **25** Beantwoord de volgende vragen:
- Voor welke waarden van U_{zp} wordt de accu opgeladen?
- Voor welke waarden van U_{zp} levert de accu stroom aan het zonnepaneel?

Het is ongewenst dat de accu stroom levert aan het zonnepaneel. Dit kan men verhinderen door een diode in de schakeling op te nemen.
Op de uitwerkbijlage staat de schakeling van figuur 1 weergegeven.

2p **26** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de diode op een juiste plaats en in de juiste richting.

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