Examen VWO

2022

tijdvak 2
tijdsduur: 3 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.
Voor dit examen zijn maximaal 75 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.

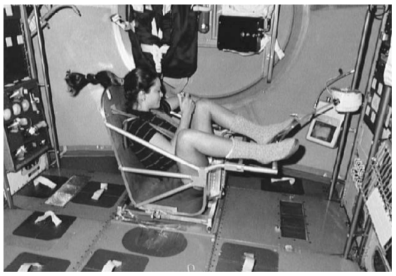
VW-1023-a-22-2-o

natuurkundeuitgelegd.nl

Massa meten in de ruimte

Astronauten verblijven soms langdurig in een ruimtestation dat om de aarde cirkelt. Om te voorkomen dat de astronauten spier- en botmassa verliezen moeten ze oefeningen doen. Daarom moet gedurende het verblijf hun massa gemonitord worden.

figuur 1

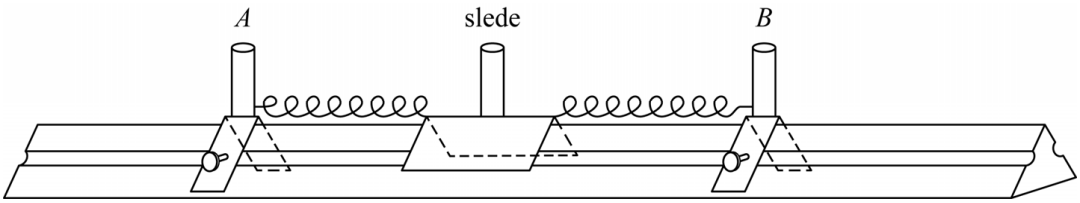


Om in de ruimte de massa van astronauten te bepalen, is speciale apparatuur nodig. Anders dan op aarde kan de massa niet worden bepaald door de astronauten op een gewone personenweegschaal te laten staan.

2p **1** Leg uit waarom dat niet kan.

Figuur 1 toont een foto van een astronaute in een speciale stoel waarmee haar massa kan worden bepaald. Deze stoel is via twee veren, aan de voor- en achterkant van de stoel, verbonden aan twee vaste ophangpunten. Als de stoel een horizontale uitwijking krijgt, gaat hij trillen. Door de trillingstijd te meten, kan de massa van de astronaute worden bepaald.
Jasper en André doen een experiment waarbij ze dit simuleren. Ze gebruiken een luchtkussenbaan met daarop een slede die met twee identieke veren is vastgemaakt aan twee vaste klemmen (zie figuur 2). De veerconstante van elke veer is $25\ \mathrm{N\,m^{-1}}$.

figuur 2



De klemmen A en B zijn zo ver uit elkaar gezet dat de veren gespannen zijn als de slede in de evenwichtsstand staat. In de figuur op de uitwerkbijlage zijn drie situaties getekend:

1 De veren zijn nog niet bevestigd aan de slede. L_0 is de rustlengte van de veren.
2 De slede is aan twee gespannen veren bevestigd en bevindt zich in de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is nu u_0.
3 De slede heeft een uitwijking x uit de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is respectievelijk u_L en u_R.

natuurkundeuitgelegd.nl

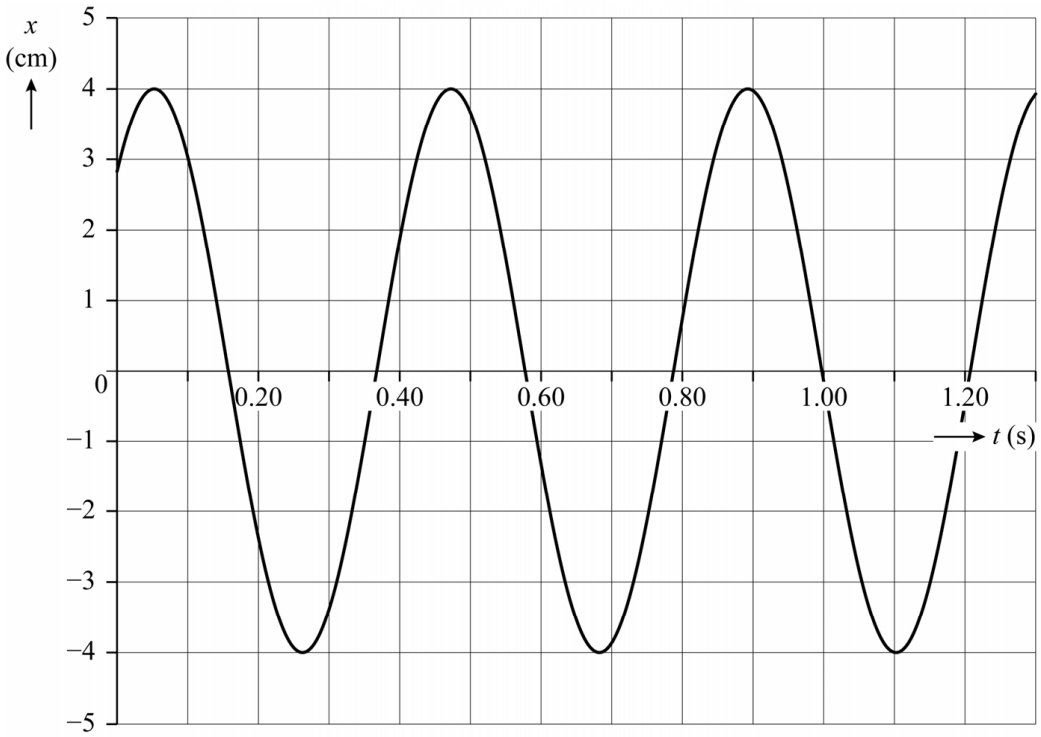
André beweert dat het massa-veersysteem, bestaande uit de slede en de twee veren, een totale veerconstante heeft van $50\ \mathrm{Nm^{-1}}$.

In de figuur op de uitwerkbijlage is in de situaties 2 en 3 de veerkracht F_L van de linker veer op de slede getekend.

4p **2** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de veerkracht F_R van de rechter veer op de slede in de situaties 2 en 3.
- Leg hiermee uit dat André gelijk heeft.

Nadat de slede een uitwijking uit de evenwichtsstand heeft gekregen, beweegt deze wrijvingsloos over de luchtkussenbaan. Jasper en André maken een videometing van de beweging van de slede. Het (x,t)-diagram van deze meting staat in figuur 3.

figuur 3



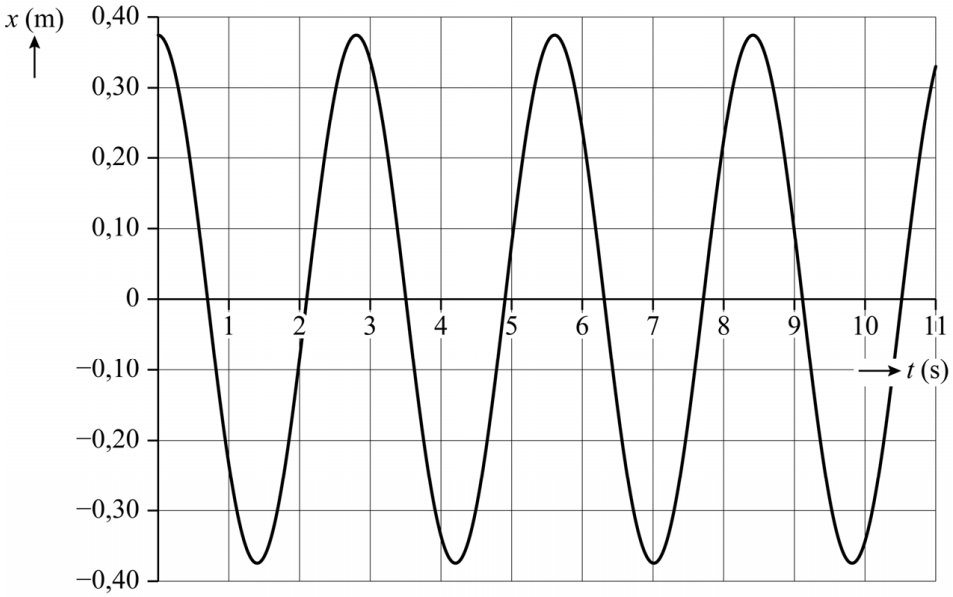
3p **3** Bepaal de massa van de slede met behulp van figuur 3. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Jasper en André maken een computermodel om het massa-veersysteem in het ruimtestation te beschrijven. De waardes van alle grootheden zijn dus niet hetzelfde als bij de vorige vragen. Net als bij het experiment zijn in het model de veren gespannen als de stoel met de astronaut zich in de evenwichtsstand bevindt.

natuurkundeuitgelegd.nl

Jasper en André maken met het model een grafiek voor x als functie van de tijd. Zie figuur 4. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



5p **4** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van het (x,t)-diagram op de uitwerkbijlage de maximale snelheid van de stoel. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het bijbehorende (v,t)-diagram.

Dan bedenkt Jasper dat er in het ruimtestation wrijving is. Hij past het model aan door een wrijvingskracht toe te voegen. Hij voegt ook de formules toe voor de kinetische energie E_k, de veerenergie E_v en de totale energie E_t van het massa-veersysteem. Hierbij is $E_t = E_k + E_v$.

1p **5** Welke formule voor de veerenergie is de juiste?

A $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 - u_R^2)$

B $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 + u_R^2)$

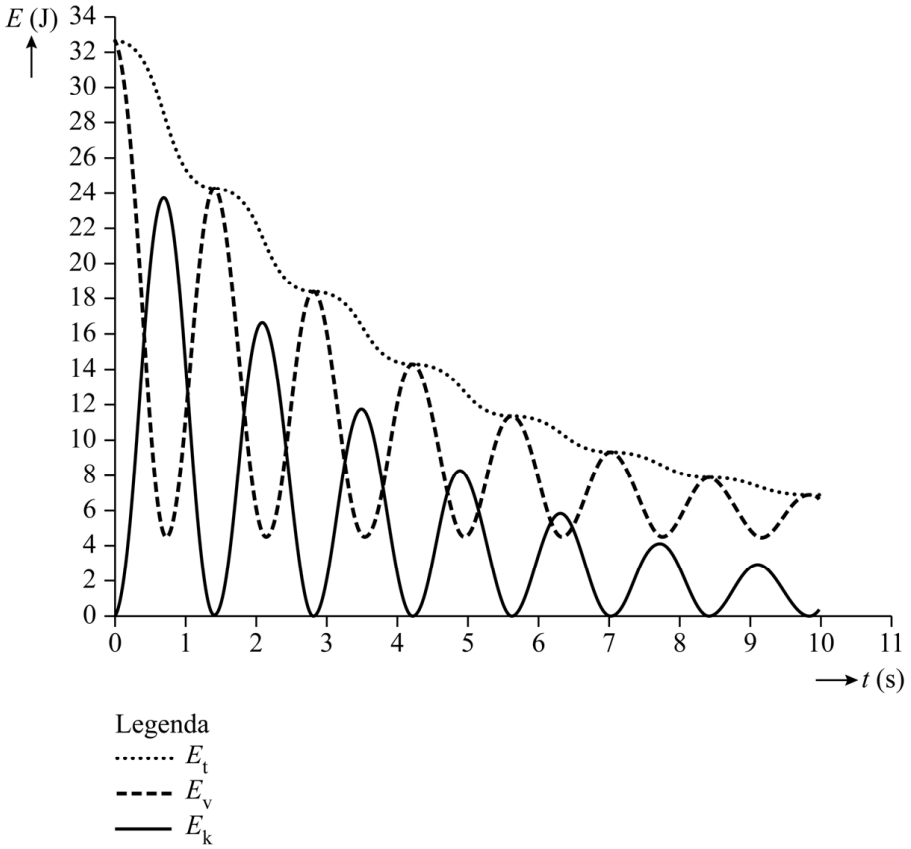
C $E_v = \frac{1}{2}C(u_L - u_R)^2$

D $E_v = \frac{1}{2}C(u_L + u_R)^2$

Jasper maakt met het aangepaste model grafieken voor de kinetische energie, de veerenergie en de totale energie als functie van de tijd. Zie figuur 5.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 5



Uit figuur 5 blijkt dat de veerenergie niet tot $0\,\text{J}$ daalt.

1p **6** Geef hiervoor de natuurkundige verklaring.

André constateert dat het totale energieverlies per seconde afwisselend toe- en afneemt, waardoor de grafiek van E_t er nogal hobbelig uitziet. Hij ziet ook dat E_t het snelst daalt als E_k maximaal is. André vermoedt dat dit komt doordat in het model voor de wrijvingskracht de formule voor luchtweerstand is gebruikt. Omdat deze afhankelijk is van de snelheid zal het energieverlies per seconde het grootst zijn als de snelheid maximaal is. Om deze hypothese te toetsen past André de modelformule voor de wrijvingskracht aan zodat de grootte van de wrijvingskracht constant is. Vervolgens maakt André met het model de grafieken van E_k en E_t opnieuw. Hij verwacht dat de grafiek van E_t nu geen hobbels meer vertoont.

2p **7** Leg uit of de verwachting van André terecht is.

natuurkundeuitgelegd.nl

Het hart pompt het bloed door het lichaam. Dit gebeurt doordat een elektrische prikkel de hartspier laat samentrekken. Tijdens de samentrekkingen treedt scheiding op van elektrische lading. Dit kun je meten en vervolgens zichtbaar maken met een elektrocardiogram (ECG). In figuur 1 is een ECG weergegeven van een gezonde persoon. Dit ECG is getekend door een pen die met een snelheid van $25\ \text{mm s}^{-1}$ van links naar rechts beweegt. Figuur 1 is op ware grootte.

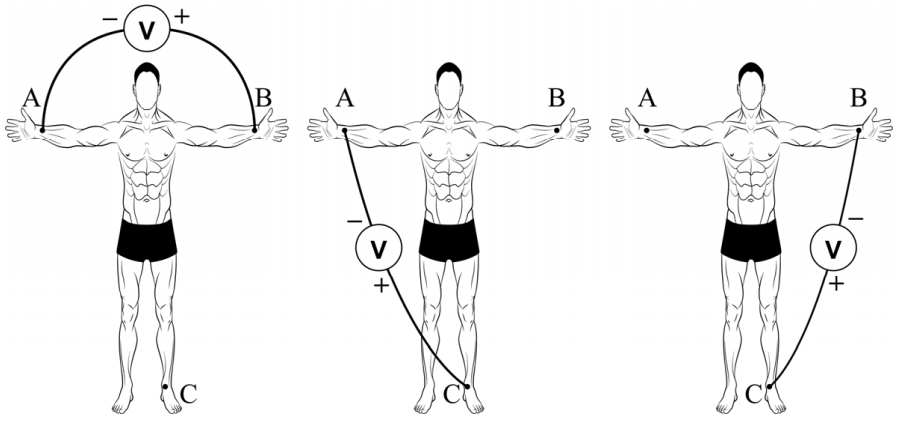
figuur 1

Het hartritme is gedefinieerd als het aantal slagen van het hart per minuut.

3p **8** Bepaal met behulp van figuur 1 het hartritme van deze persoon. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Bij het maken van een ECG in het ziekenhuis worden er vaak drie elektroden op de huid van de patiënt geplakt: op de rechterarm (A) , op de linkerarm (B) en op het linkerbeen (C). Zie figuur 2. De spanningen die tussen de elektroden worden gemeten leveren drie verschillende ECG's op.

figuur 2



natuurkundeuitgelegd.nl

De spanningsmeters in figuur 2 meten respectievelijk de spanning U_{AB} tussen A en B, de spanning U_{AC} tussen A en C en de spanning U_{BC} tussen B en C. De plus- en minaansluitingen van de spanningsmeters zijn aangegeven in figuur 2.
Het ECG van figuur 1 is een meting van de spanning tussen A en C. Dit ECG kan ook verkregen worden door de spanning tussen A en B en de spanning tussen B en C te meten en deze spanningen voor ieder tijdstip bij elkaar op te tellen.

2p **9** Leg dit uit met behulp van de spanningswet van Kirchhoff.

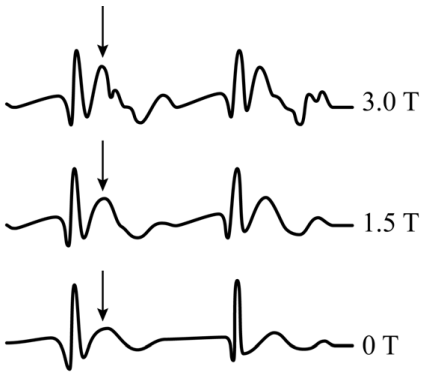
Bij mensen die een traag hartritme hebben, wordt vaak een pacemaker ingebracht. Dit apparaat meet voortdurend het hartritme en kan met kleine stroomstootjes het ritme bijsturen.
Voor het plaatsen van een pacemaker wordt een dun slangetje, een katheter, in het hart aangebracht. Om tijdens het inbrengen de katheter te volgen wordt een CT-scan van de patiënt gemaakt. Tegelijkertijd wordt de hartfunctie in de gaten gehouden met een ECG.
In plaats van gebruik te maken van een CT-scan zou het voor de patiënt beter zijn als het inbrengen van de katheter gevolgd zou worden met een MRI-scan.

1p **10** Geef een natuurkundige reden waarom dit beter is voor de patiënt.

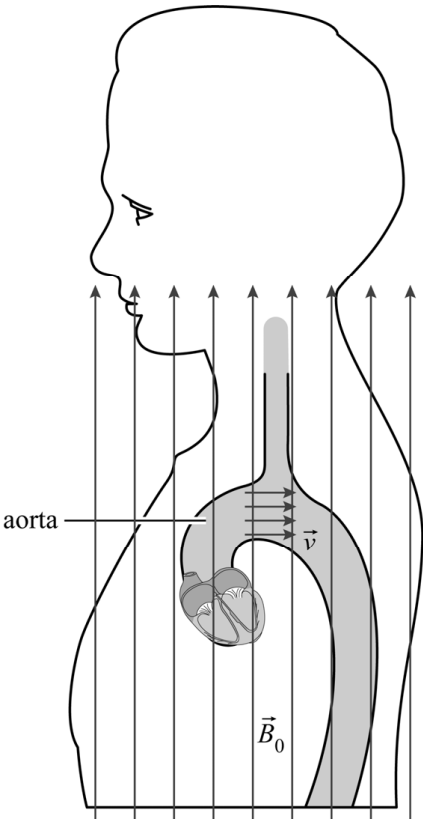
Het maken van een MRI-scan heeft ook nadelen. Het sterke magneetveld van de MRI-scanner zorgt ervoor dat het ECG van de patiënt er anders uitziet, zelfs als het hart normaal functioneert.
De verandering komt doordat in het bloed positieve en negatieve ionen zitten. Door de stroming van het bloed en het uitwendige magneetveld van de MRI-scanner ontstaat een lorentzkracht op de ionen. Hierdoor treedt in het bloed ladingsscheiding op waardoor een elektrische spanning ontstaat die de ECG-meting beïnvloedt. In figuur 3 staat een voorbeeld van de verandering van een ECG als het magneetveld verandert. Dit is vooral te zien bij de pijlen.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 3



figuur 4



In figuur 4 is schematisch een doorsnede van de borstkas in zijaanzicht weergegeven. Het bloed verlaat het hart onder andere via het grootste bloedvat in het lichaam, de aorta. De aorta is in figuur 4 overdreven groot weergegeven.
Het uitwendige magnetisch veld $\vec{B}_0$ is aangegeven met pijlen die in de figuur van onder naar boven lopen. De horizontale pijlen in de aorta geven de stroomsnelheid $\vec{v}$ van het bloed aan.
In het bovenste deel van de aorta staan de stromingsrichting van het bloed en de richting van het magneetveld loodrecht op elkaar.
Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p **11** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in de cirkel in de figuur op de uitwerkbijlage de richting aan van de lorentzkracht op de positieve ionen.
- Leg uit dat er in de aorta ladingsscheiding optreedt.
- Leg hiermee uit op welke spanning (U_{AB}, U_{BC} of U_{AC}) de invloed van deze ladingsscheiding het grootst is.

natuurkundeuitgelegd.nl

Samira en Fatima willen controleren of de verandering in het ECG verklaard kan worden door de ladingsscheiding in de aorta als gevolg van het magneetveld in de MRI-scanner.
Ze leiden een formule af voor de spanning die ontstaat als gevolg van deze ladingsscheiding:

$$U_{ls} = v \cdot B_0 \cdot d \qquad (1)$$

Hierin is:
- U_{ls} de spanning in de aorta als gevolg van de ladingsscheiding in V
- v de stroomsnelheid van het bloed in $\mathrm{m\,s^{-1}}$
- B_0 de sterkte van het magneetveld in de MRI-scanner in T
- d de gemiddelde afstand tussen de positieve en negatieve lading in m

Samira en Fatima zien dat op een bepaald moment bij een magnetische veldsterkte van $3{,}0\ \mathrm{T}$ de toename van de spanning in het ECG $1\ \mathrm{mV}$ is ten opzichte van de situatie bij $0\ \mathrm{T}$. Ze vinden in een informatieboek dat er op dat moment tijdens een hartslag per seconde $600\ \mathrm{mL}$ bloed door de aorta stroomt en dat de diameter van de aorta $3\ \mathrm{cm}$ is. Ze leiden af dat voor de stroomsnelheid in het bloed geldt:

$$v = \frac{Q}{A} \qquad (2)$$

Hierin is:
- Q de hoeveelheid bloed die per seconde door de aorta stroomt in $\mathrm{m^3\,s^{-1}}$
- A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de aorta in $\mathrm{m^2}$

Samira en Fatima realiseren zich dat de bovenstaande verklaring alleen kan kloppen als d kleiner is dan de diameter van de aorta.

4p **12** Leg met behulp van een berekening uit of de verandering van het ECG verklaard zou kunnen worden door ladingsscheiding in de aorta.

natuurkundeuitgelegd.nl

Adelaarsnevel

Een interstellaire wolk is een groot gebied in het heelal, van vele tientallen lichtjaren in omvang, dat zeer ijl gas bevat. Dit gas bestaat voor het grootste deel uit atomair waterstof.
Onder bepaalde omstandigheden kan een interstellaire wolk zelf licht uitzenden. De wolk wordt dan een emissienevel genoemd. Figuur 1 is een foto van zo'n nevel, de Adelaarsnevel.
In een emissienevel wordt voortdurend waterstof geïoniseerd, waarna de protonen en elektronen weer recombineren tot atomen. Hierbij wordt zichtbaar licht uitgezonden. De lijnen van het waterstofspectrum zijn altijd terug te vinden in het spectrum van een emissienevel. Eén van de waterstoflijnen overheerst in het zichtbare spectrum, namelijk de lijn met een golflengte van $656{,}28\ \text{nm}$. Emissienevels hebben daardoor vaak een karakteristieke rode kleur.

figuur 1

5p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken, uitgaande van de gegeven golflengte, de fotonenergie in eV van de overheersende waterstoflijn in het spectrum van een emissienevel. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.
- Toon met behulp van de formule voor de energie van het waterstofatoom aan dat deze lijn hoort bij de overgang tussen de eerste en de tweede aangeslagen toestand van waterstof.
- Geef aan of het een overgang is van eerste naar tweede aangeslagen toestand of andersom.

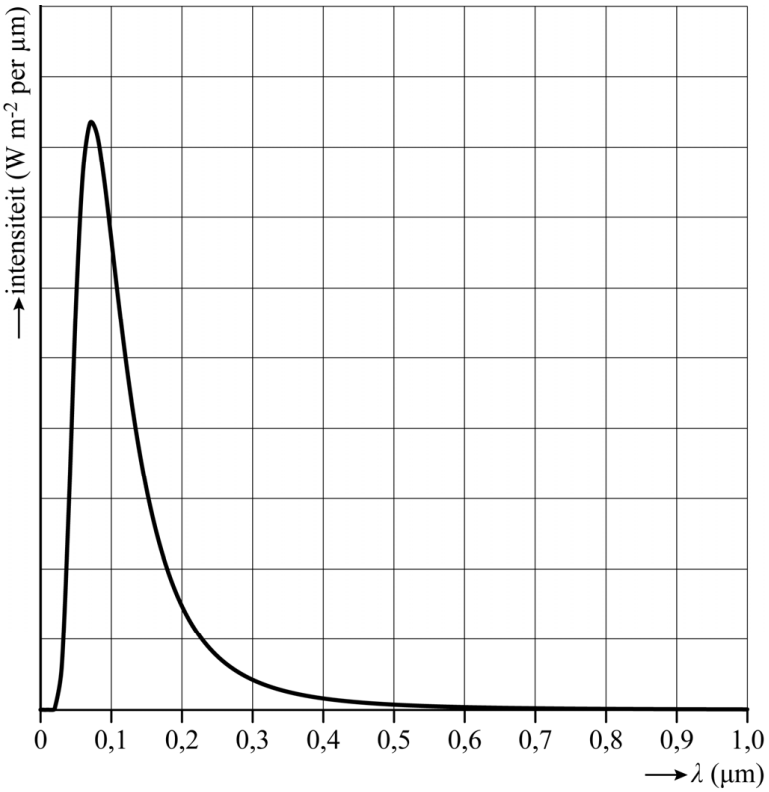
Om van een interstellaire wolk een emissienevel te maken moet aan twee voorwaarden worden voldaan:
1 er moet een ster in de nevel aanwezig zijn,
2 deze ster moet vooral straling uitzenden met frequenties die groter zijn dan van zichtbaar licht.

2p **14** Leg uit waarom voorwaarde 2 noodzakelijk is.

natuurkundeuitgelegd.nl

Het valt Eva en Isa op dat ster HD168076 op dezelfde plek aan de hemel staat als de Adelaarsnevel. Deze ster wordt in de rest van deze opgave ‘de ster’ genoemd.
Eva en Isa willen de hypothese toetsen dat de ster één van de sterren is die van de interstellaire wolk een emissienevel maakt.
De planckkromme van de ster is in figuur 2 weergegeven.

figuur 2



2p **15** Leg met behulp van figuur 2 uit dat de ster aan voorwaarde 2 voldoet.

3p **16** Toon met behulp van figuur 2 aan dat de ster een temperatuur van $4 \cdot 10^4$ K heeft.

Op de uitwerkbijlage is een Hertzsprung-Russelldiagram weergegeven. Op de verticale as staat het uitgezonden vermogen ten opzichte van de zon, op een logaritmische schaal. Op de horizontale as staat de temperatuur, aflopend van links naar rechts, eveneens op een logaritmische schaal.
De ster is een ster op de hoofdreeks. Eva en Isa benaderen de hoofdreeks met een lijn. Deze lijn is getekend in de figuur op de uitwerkbijlage. Ze gaan ervan uit dat hoofdreekssterren op deze lijn liggen.

natuurkundeuitgelegd.nl

5p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat het uitgestraald vermogen van de ster gelijk is aan $2 \cdot 10^{32}$ W.
- Bereken hiermee de straal van de ster.

Eva en Isa gebruiken een optische telescoop om de stralingsintensiteit van de ster te bepalen die op aarde wordt ontvangen. De telescoop detecteert 60% van de stralingsintensiteit in het golflengtegebied van 400 tot 800 nm.
Eva en Isa meten met deze telescoop een stralingsintensiteit van $4,7 \cdot 10^{-11}$ W m^{-2} in dit golflengtegebied.
Uit hun meting bepalen ze met behulp van figuur 2 dat de totale ontvangen stralingsintensiteit op aarde van de ster $3,4 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2} is.

Figuur 2 staat vergroot op de uitwerkbijlage. Het gebied onder de grafiek tussen 400 nm en 800 nm is gearceerd. De oppervlakte van dit gebied is gelijk aan 0,2 hokje.

4p **18** Voer de bepaling van Eva en Isa uit en toon aan dat de uitkomst inderdaad tussen $3 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2} en $4 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2} ligt.

De Adelaarsnevel bevindt zich op een afstand van $7 \cdot 10^{3}$ lichtjaar.

3p **19** Toon met behulp van een berekening aan of aan voorwaarde 1 kan zijn voldaan.

natuurkundeuitgelegd.nl

LEO-satelliet

Low Earth Orbit (LEO) satellieten worden gebruikt voor onderzoek aan het broeikaseffect. Deze satellieten draaien betrekkelijk laag boven het aardoppervlak. Zie figuur 1.

figuur 1

De snelheid van een satelliet kan worden berekend met de formule:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (1)$$

Hierin is:
- v de snelheid in $\mathrm{m\,s^{-1}}$
- G de gravitatieconstante in $\mathrm{N\,m^2\,kg^{-2}}$
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

De totale energie E_t van een satelliet is de som van de kinetische energie en de gravitatie-energie.
De totale energie van een satelliet kan berekend worden met de formule:

$$E_t = -\frac{1}{2}G\frac{mM}{r} \qquad (2)$$

Hierin is:
- E_t de totale energie van de satelliet in J
- G de gravitatieconstante in $\mathrm{N\,m^2\,kg^{-2}}$
- m de massa van de satelliet in kg
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

4p **20** Leid de formules (1) en (2) af met behulp van formules uit het informatieboek.

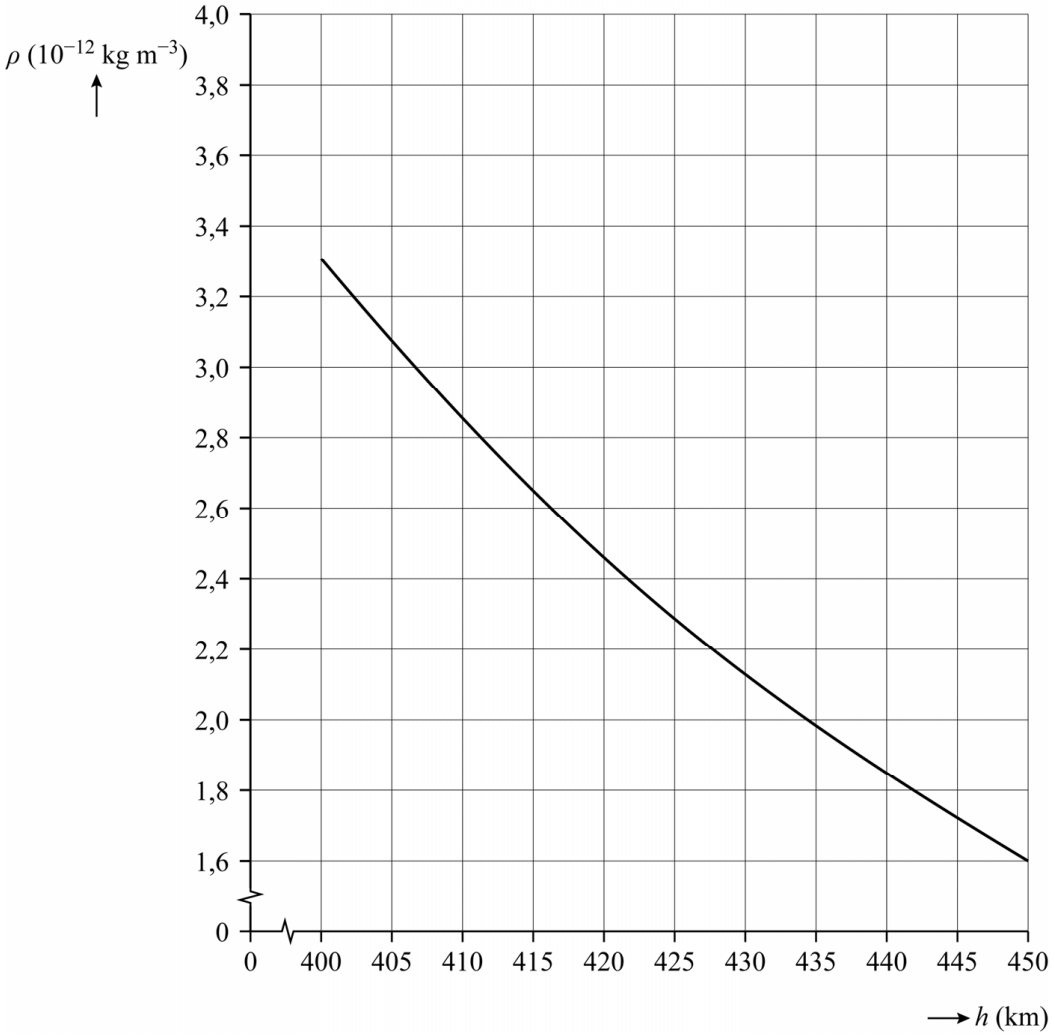
Een bepaalde LEO-satelliet bevindt zich op een hoogte van $425\ \mathrm{km}$.

3p **21** Toon aan dat deze satelliet een snelheid heeft van $7{,}658\ \mathrm{km\,s^{-1}}$.

Op deze hoogte is de atmosferische wrijving niet helemaal verwaarloosbaar. De dichtheid van de atmosfeer hangt sterk af van de hoogte h boven het aardoppervlak. Het verloop van de dichtheid tussen $h = 400\ \mathrm{km}$ en $h = 450\ \mathrm{km}$ is weergegeven in figuur 2.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 2



De satelliet heeft een c_w-waarde van $2{,}2$ en een frontaal oppervlak van $0{,}385\ \text{m}^2$.

4p **22** Bepaal de energie die deze satelliet elke seconde verliest ten gevolge van atmosferische wrijving.

De totale energie uit formule (2) is een functie van r en kun je dus ook noteren als $E_t(r) = -\frac{1}{2}GmMr^{-1}$.

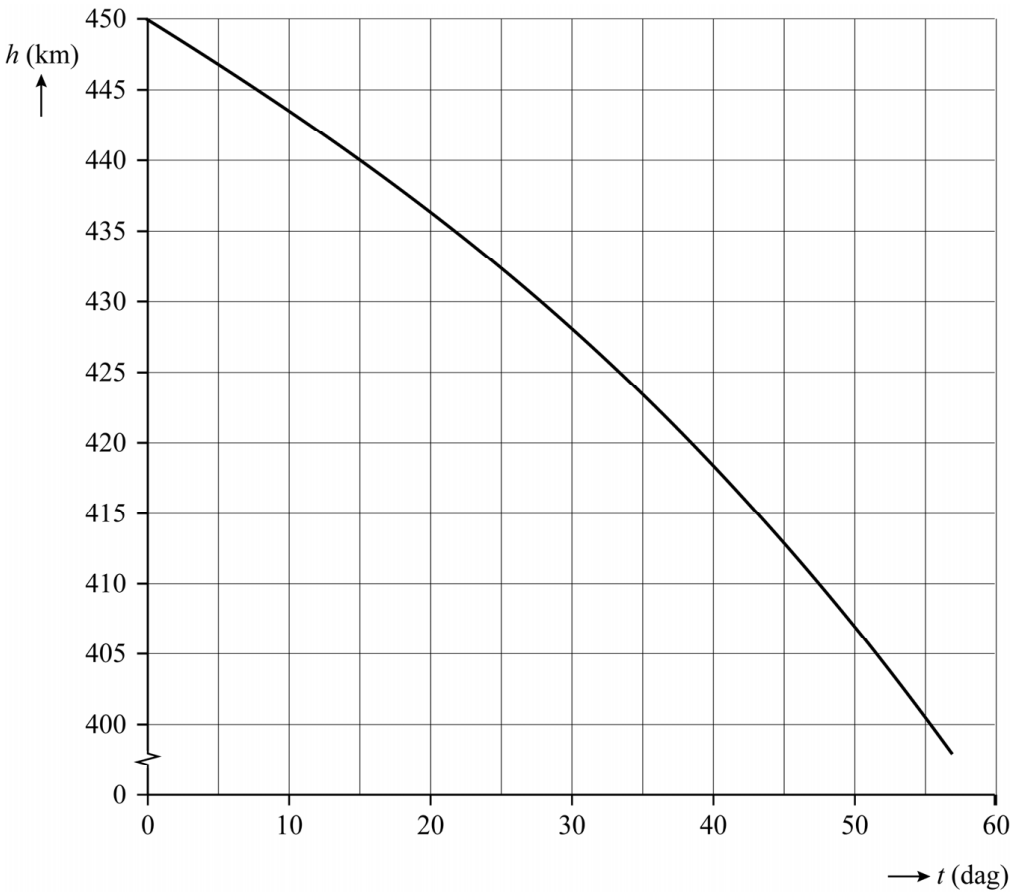
3p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de afgeleide $\frac{dE_t}{dr}$ door $E_t(r)$ te differentiëren.
- Leg aan de hand van het teken van $\frac{dE_t}{dr}$ uit dat door de wrijving de hoogte van de LEO-satelliet steeds kleiner wordt.

natuurkundeuitgelegd.nl

Als er niet gecorrigeerd zou worden voor het hoogteverlies door de wrijving zou de hoogte van de LEO-satelliet afnemen volgens figuur 3. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Aan het eind van de levensduur van de satelliet wordt er niet meer gecorrigeerd voor het hoogteverlies.

4p **24** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het hoogteverlies per omwenteling om de aarde van de satelliet die zich op een hoogte van $425\ \text{km}$ bevindt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Aan het eind van de levensduur verandert de baansnelheid van de satelliet.

2p **25** Leg met behulp van formule (1) uit of deze baansnelheid steeds kleiner of steeds groter wordt.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.

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