Examen VWO

2025

tijdvak 2
dinsdag 17 juni
13.30 - 16.30

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 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.

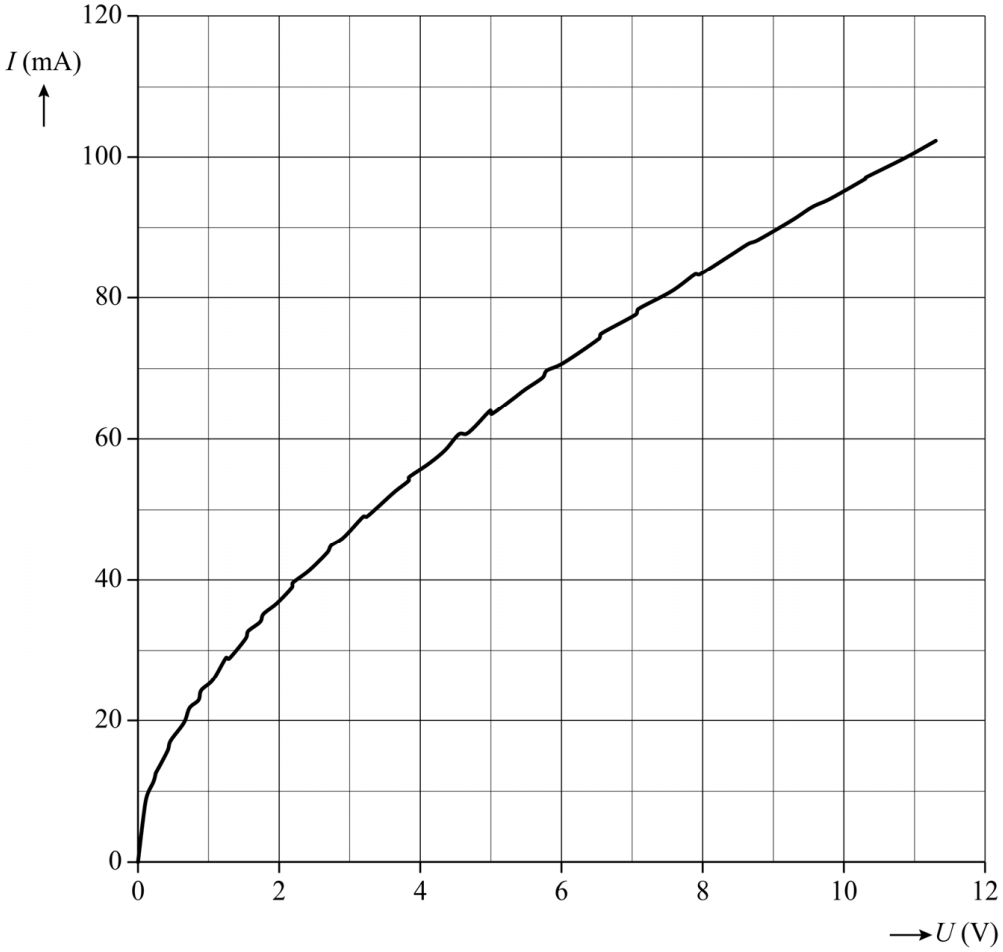
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld

VW-1023-a-25-2-o

natuurkundeuitgelegd.nl

In een practicum worden de eigenschappen van een gloeilampje onderzocht. In figuur 1 is hiervan het (I,U)-diagram weergegeven.

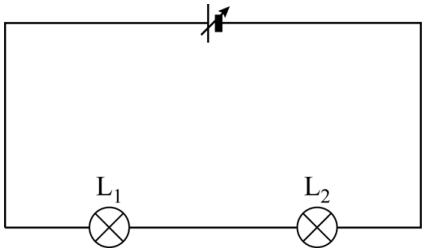
figuur 1



3p **1** Leg met behulp van figuur 1 uit of het lampje beschouwd kan worden als een PTC of als een NTC.

Twee van deze lampjes worden in serie aangesloten op een regelbare gelijkspanningsbron. Zie figuur 2.
Een spanningsmeter wordt toegevoegd aan de schakeling om de spanning over lampje L_1 te meten.

figuur 2



De spanningsbron wordt zo ingesteld dat de spanningsmeter $5{,}0\ \mathrm{V}$ aangeeft.

4p **2** Bepaal met behulp van figuur 1 de grootte van de totale weerstand van beide lampjes samen. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

natuurkundeuitgelegd.nl

Vervolgens wordt parallel aan lampje L_1 een ohmse weerstand toegevoegd. De bronspanning blijft gelijk en toch gaan beide lampjes hierdoor anders branden. Met een stroommeter wordt de totale stroomsterkte gemeten.

2p **3** Maak op de uitwerkbijlage het schakelschema van de opstelling compleet, inclusief beide meters.

4p **4** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of de totale stroomsterkte nu groter of kleiner is geworden.
- Leg voor elk lampje uit of dit nu feller of minder fel brandt dan eerst.

natuurkundeuitgelegd.nl

Springende hydrogelballetjes

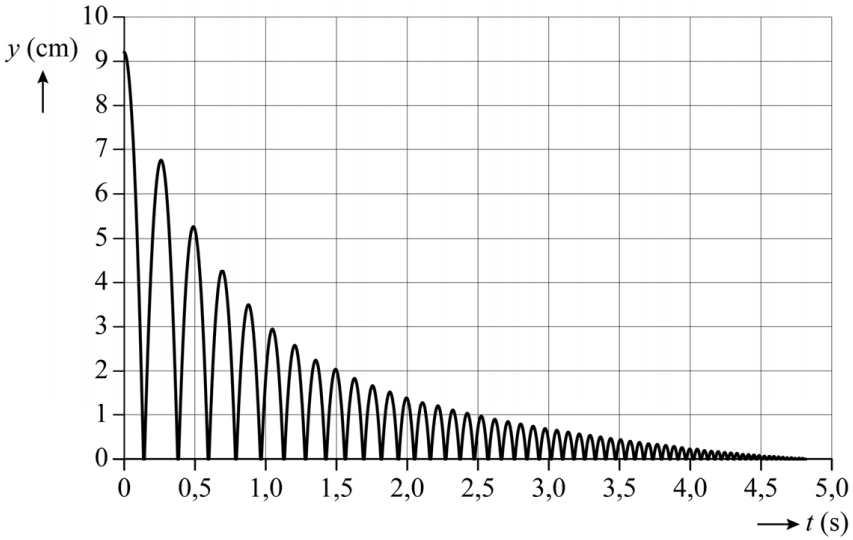
Op internet zijn verschillende filmpjes te vinden van hydrogelballetjes, die in een hete koekenpan hevig op en neer stuiteren. Zie figuur 1.

figuur 1

Hydrogelballetjes zijn elastische balletjes die voor het grootste deel uit water bestaan. Ze hebben een massa van $1{,}75\ \text{gram}$ per balletje.

Nathalie en Karim zijn gefascineerd door de filmpjes en onderzoeken de beweging van de hydrogelballetjes. In hun eerste experiment laten ze een hydrogelballetje los vanaf een hoogte van $9{,}2\ \text{cm}$ boven een koude koekenpan. Met behulp van videometen maken ze een (y,t)-diagram van de beweging van het balletje. Zie figuur 2. Hierin is y de positie van de onderkant van het balletje.

figuur 2



De hele stuiterbeweging is de beweging van top tot top. Nathalie en Karim delen deze beweging op in drie delen:

I het naar beneden vallen van het balletje
II het stuiteren op de koekenpan, dit noemen ze de “stuit”
III het naar boven bewegen van het balletje

natuurkundeuitgelegd.nl

Na een stuit bereikt het balletje een kleinere maximale hoogte dan daarvoor. Het balletje verliest dus energie.

Op de uitwerkbijlage staat een deel van figuur 2 vergroot weergegeven.

3p **5** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het energieverlies van het balletje tijdens de eerste hele stuiterbeweging. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Nathalie en Karim willen weten wat de oorzaak van het energieverlies is. Daarvoor hebben ze twee mogelijkheden bedacht:

1 Het energieverlies wordt veroorzaakt door luchtweerstand.
2 Het energieverlies wordt veroorzaakt tijdens de stuit.

mogelijkheid 1

Het energieverlies door de luchtweerstand kan berekend worden uit de beginhoogte van $9{,}2\ \mathrm{cm}$ en de snelheid waarmee het balletje de pan raakt. Helaas blijkt de bepaling van deze snelheid uit de beschikbare metingen zo onnauwkeurig te zijn dat het energieverlies zowel 0% als 13% kan zijn en alles daar tussenin.

4p **6** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de snelheid waarmee het balletje de pan raakt als het energieverlies door luchtweerstand gelijk is aan 13%.
- Toon aan dat deze snelheid zonder energieverlies door luchtweerstand even groot is, als je de berekende snelheden in het juiste aantal significante cijfers noteert.

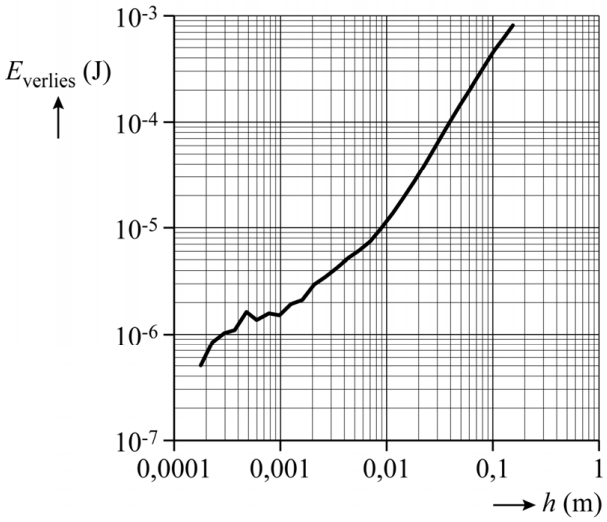
mogelijkheid 2

4p **7** Leg uit hoe je met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zou kunnen bepalen hoe groot het energieverlies, in procenten, is tijdens de stuit. Laat duidelijk zien hoe je de figuur hierbij moet gebruiken.

natuurkundeuitgelegd.nl

Helaas blijken de metingen van Nathalie en Karim te onnauwkeurig om te bepalen wat de oorzaak van het energieverlies is. Onderzoekers in Leiden hebben het gedrag van de hydrogelballetjes ook onderzocht. Om het energieverlies nauwkeurig te kunnen bepalen hebben zij de stuiterbeweging gefilmd met een hogesnelheidscamera. Ze lieten de balletjes van verschillende hoogtes vallen op een koude koekenpan. Bij elke valhoogte h bepaalden zij hoe groot het energieverlies is bij één stuiterbeweging. Zie figuur 3.

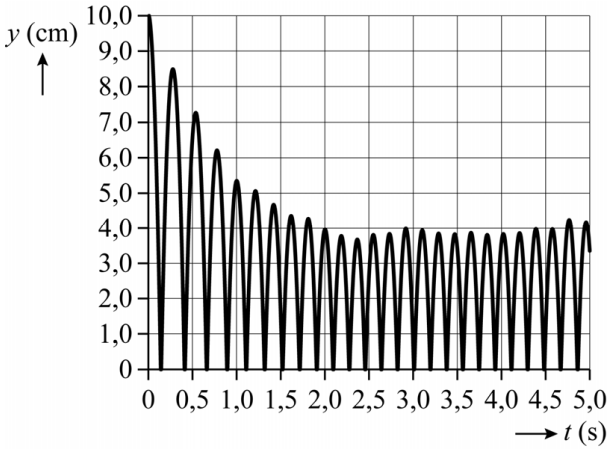
figuur 3



natuurkundeuitgelegd.nl

Vervolgens lieten de onderzoekers de balletjes vallen op een hete koekenpan. Ze namen waar dat de balletjes gedurende enkele minuten bleven stuiteren en dat hun stuiterhoogte al na een paar seconden niet meer afnam. Dit laatste noemen we de ‘stabiele situatie’. De massa van de balletjes verandert in deze situatie niet.
In figuur 4 is het $y(t)$-diagram weergegeven van balletjes die stuiteren op een hete koekenpan.

figuur 4



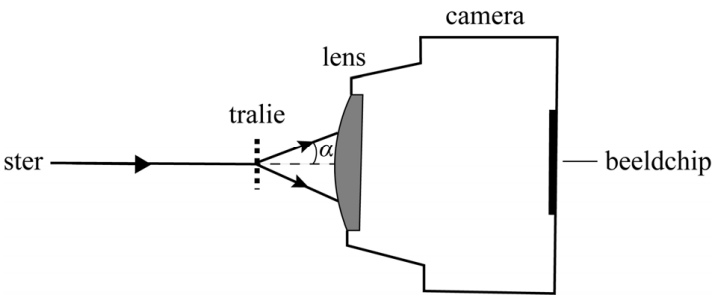
De figuren 3 en 4 zijn vergroot op de uitwerkbijlage weergegeven.

2p **8** Bepaal met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage hoeveel energie de hete koekenpan per stuit overdraagt aan het balletje tijdens de stabiele situatie. Noteer je antwoord in één significant cijfer.

natuurkundeuitgelegd.nl

Het spectrum van een ster is een belangrijke bron van informatie over de natuurkundige eigenschappen ervan. Om dit spectrum zichtbaar te maken is niet per se een dure ingewikkelde professionele telescoop nodig. Dit kan al met een amateurtelescoop en een gewone digitale camera waar een tralie voor geplaatst wordt. Zie figuur 1.

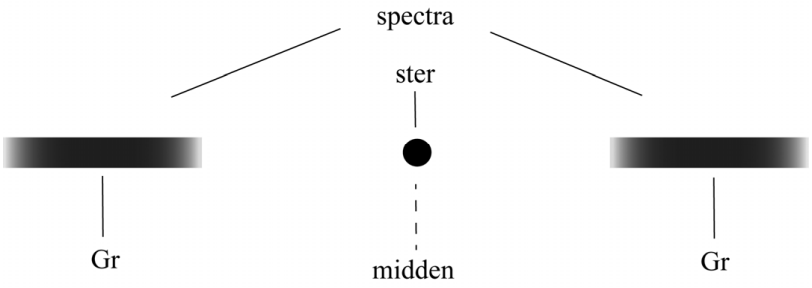
figuur 1



De afbuighoek α van de eerste-orde-maxima hangt af van de kleur van het sterrenlicht. De cameralens beeldt deze maxima af op een beeldchip. Hierbij geldt: hoe groter hoek α, des te verder het afgebeelde maximum van het midden van de chip ligt.

Op de chip worden nu beide eerste-orde-spectra van de ster zichtbaar. Het nulde-orde-maximum is een afbeelding van de ster zelf. Zie figuur 2.

figuur 2



Er zijn tralies verkrijgbaar met 200 lijnen per millimeter en met 100 lijnen per millimeter. Met beide tralies worden de eerste-orde-spectra op de chip afgebeeld. Om deze spectra zo nauwkeurig mogelijk te kunnen waarnemen moet de afbeelding zo groot mogelijk zijn.

2p **9** Leg uit welke van de tralies hiervoor gekozen moet worden.

In figuur 2 zijn met Gr de plekken aangegeven waar groen licht, met een golflengte van $0{,}58\ \mu m$, wordt afgebeeld. Het gebruikte tralie heeft 100 lijnen per millimeter.

3p **10** Bereken de afbuighoek α waarover het licht met deze kleur door het tralie wordt afgebogen.

natuurkundeuitgelegd.nl

Luna vergelijkt de afbeelding die met behulp van een tralie gemaakt wordt met het interferentiepatroon van een dubbele spleet. Zij weet dat dit interferentiepatroon een weergave is van de waarschijnlijkheid om het foton op een bepaalde plaats te kunnen detecteren. Bij een tralie liggen de plaatsen van de maxima op de chip bij een gegeven golflengte vast. Hieruit concludeert Luna dat fotonen met dezelfde golflengte bij een tralie op dezelfde plaats op de chip vallen en dat er dus geen sprake is van een waarschijnlijkheidsverdeling voor de detectie van fotonen op de chip.

2p **11** Leg uit dat Luna geen gelijk heeft.

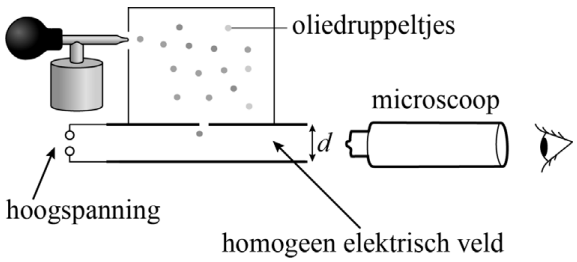
natuurkundeuitgelegd.nl

Experiment van Millikan

In 1909 voerden Robert Millikan en Harvey Fletcher een experiment uit waarmee ze de lading van het elektron bepaalden. In figuur 1 staat een opstelling voor dit experiment afgebeeld. In figuur 2 is de opstelling schematisch weergegeven. In het bovenste gedeelte wordt olie verneveld tot kleine druppeltjes. De druppeltjes krijgen met behulp van ioniserende straling een lading. Door een kleine opening in de bovenste van twee platen kunnen enkele druppels omlaag vallen in het onderste gedeelte. Tussen deze platen kan een homogeen elektrisch veld gecreëerd worden door een spanningsbron aan te sluiten op de platen. Wanneer daar geen spanning over staat, vallen de druppels naar beneden. Als er wel een spanning staat kunnen de druppels ook omhoog bewegen. Tijdens het experiment lieten Millikan en Fletcher een druppel een aantal keren op en neer bewegen.

figuur 1

figuur 2



Om de lading van één zo'n druppel te bepalen moet eerst de straal van die druppel bepaald worden. Deze kan bepaald worden door de valsnelheid van de druppel te meten op het moment dat er geen spanning over de platen staat. Tijdens het vallen werken er dan twee krachten op de druppel, de zwaartekracht F_z en de wrijvingskracht F_w.
Voor de wrijvingskracht geldt:

$$F_w = 6\pi\eta r v \qquad (1)$$

Hierin is:
- η de viscositeit van de lucht, ook wel stroperigheid genoemd
- r de straal van de druppel
- v de snelheid van de druppel

De grootte van de viscositeit is $1{,}828 \cdot 10^{-5}$, uitgedrukt in SI-eenheden.

3p **12** Leid met behulp van formule (1) de eenheid van de viscositeit η af in (grond)eenheden van het SI, zoals ze staan in Binas-tabel 3A en ScienceData-tabel 1.3a.

natuurkundeuitgelegd.nl

De bolvormige druppel valt met een constante valsnelheid. Door deze snelheid te meten kan de straal van een druppel bepaald worden. Voor de straal geldt dan:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g\rho_{\text{olie}}}} \qquad (2)$$

Hierin is:
- g de valversnelling
- ρ_{olie} de dichtheid van de olie

De overige grootheden zijn dezelfde als in formule (1).

4p **13** Leid formule (2) af met behulp van formule (1) en formules uit het informatieboek.

Tijdens het vallen werkt er eigenlijk nog een tweede omhoog gerichte kracht op de druppel. Dit is de opwaartse kracht. De grootte van deze kracht is gelijk aan de zwaartekracht op de hoeveelheid lucht die door de druppel wordt verplaatst. Het volume van de verplaatste lucht is dus gelijk aan het volume van de oliedruppel.
De opwaartse kracht is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de zwaartekracht op de druppel.
Millikan vond voor de druppel een valsnelheid van $0{,}084\ \text{cm s}^{-1}$. De straal van de druppel is dan gelijk aan $2{,}7\ \mu\text{m}$.

4p **14** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat de dichtheid van de olie, die Millikan gebruikte, gelijk is aan $9{,}7 \cdot 10^{2}\ \text{kg m}^{-3}$.
- Leg uit dat de opwaartse kracht verwaarloosbaar is ten opzichte van de zwaartekracht op de druppel.

Door de ioniserende-stralingsbron ontstaan er in het bovenste gedeelte van de opstelling vrije elektronen in de lucht. Deze elektronen hechten aan de oliedruppel, waardoor de druppel een lading krijgt.

Om het homogene elektrisch veld te maken wordt een spanning aangesloten tussen de platen. Zie figuur 2.

natuurkundeuitgelegd.nl

Voor de elektrische veldsterkte tussen de platen geldt:

$$E = \frac{U}{d} \qquad (3)$$

Hierin is:
- E de sterkte van het elektrisch veld
- U de spanning
- d de afstand tussen de platen

De gebruikte spanning is $5{,}1\ \mathrm{kV}$. De afstand tussen de platen is $16\ \mathrm{mm}$. De richting van het elektrisch veld is zodanig dat de druppel uiteindelijk met een constante snelheid omhoog beweegt.

Een deel van figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

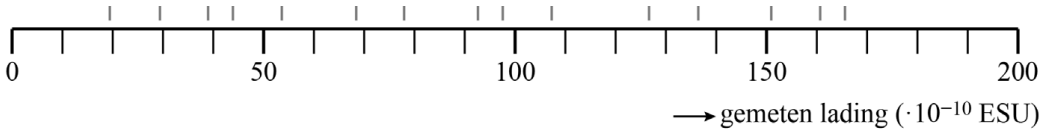
3p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het elektrisch veld tussen de platen. Gebruik daarbij minimaal vijf veldlijnen.
- Toon aan dat de grootte van het elektrisch veld tussen de platen gelijk is aan $3{,}2 \cdot 10^{5}\ \mathrm{N\,C^{-1}}$.

Op de uitwerkbijlage staat de druppel weergegeven. In de figuur zijn de zwaartekracht en de wrijvingskracht op de druppel op schaal weergegeven.

5p **16** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de elektrische kracht op de druppel.
- Bepaal de lading van de druppel. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Millikan heeft op deze manier de lading voor veel verschillende druppels bepaald. Hij kwam erachter dat de lading elke keer een veelvoud van hetzelfde getal was. Dit getal is het elementair ladingsquantum. In figuur 3 staat de lading van 15 verschillende druppels op een horizontale as. De streepjes boven de as geven de verschillende metingen aan. Je mag aannemen dat het elementair ladingsquantum uit deze metingen te bepalen is.
In 1909 drukte men de lading standaard uit in ESU. Er geldt:
$1\ \mathrm{ESU} = 3{,}34 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{C}$.

figuur 3



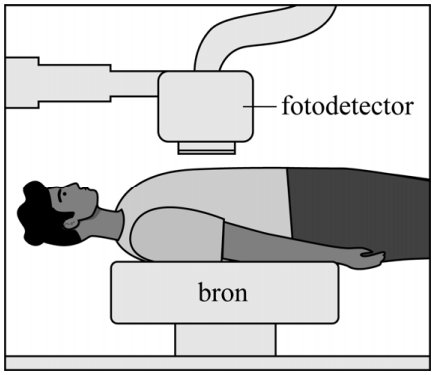
3p **17** Bepaal met behulp van figuur 3 het elementair ladingsquantum in coulomb. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

natuurkundeuitgelegd.nl

Lever zichtbaar maken

Voor een bepaald medisch onderzoek is het nodig om de lever van een patiënt in beeld te brengen. Dit kan onder andere met röntgenstralen. De patiënt ligt dan boven een röntgenbron en boven de patiënt bevindt zich een fotodetector die meet hoeveel röntgenstraling er door de patiënt heen gaat. Dit is schematisch weergegeven in figuur 1.

figuur 1



De röntgenfotonen hebben een energie van $100\ \text{keV}$. De romp van de patiënt laat gemiddeld 1,2% van de fotonen door. Neem aan dat de gemiddelde halveringsdikte van lichaamsweefsel gelijk is aan de halveringsdikte van water.

3p **18** Bereken de gemiddelde dikte van de romp van de patiënt.

De halveringsdikte van de lever verschilt enigszins van de halveringsdikte van ander lichaamsweefsel. Door dit verschil is het mogelijk om op de röntgenfoto de lever te onderscheiden van het omliggende lichaamsweefsel. Voor leverweefsel geldt:

$$d_{½,\ \text{leverweefsel}} = 0{,}9 \cdot d_{½,\ \text{water}}$$

Om de lever goed te kunnen zien moet het contrast in de afbeelding zo groot mogelijk zijn. Dit contrast wordt gedefinieerd als de verhouding van de doorgelaten intensiteiten van lever- en lichaamsweefsel. In formulevorm:

$$\text{contrast} = \frac{\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{leverweefsel}}}{\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{lichaamsweefsel}}} \qquad (1)$$

Op de uitwerkbijlage staat een grafiek waarin voor water de doorgelaten stralingsintensiteit ten opzichte van de opvallende intensiteit van de röntgenstraling is uitgezet tegen het aantal halveringsdiktes van water.

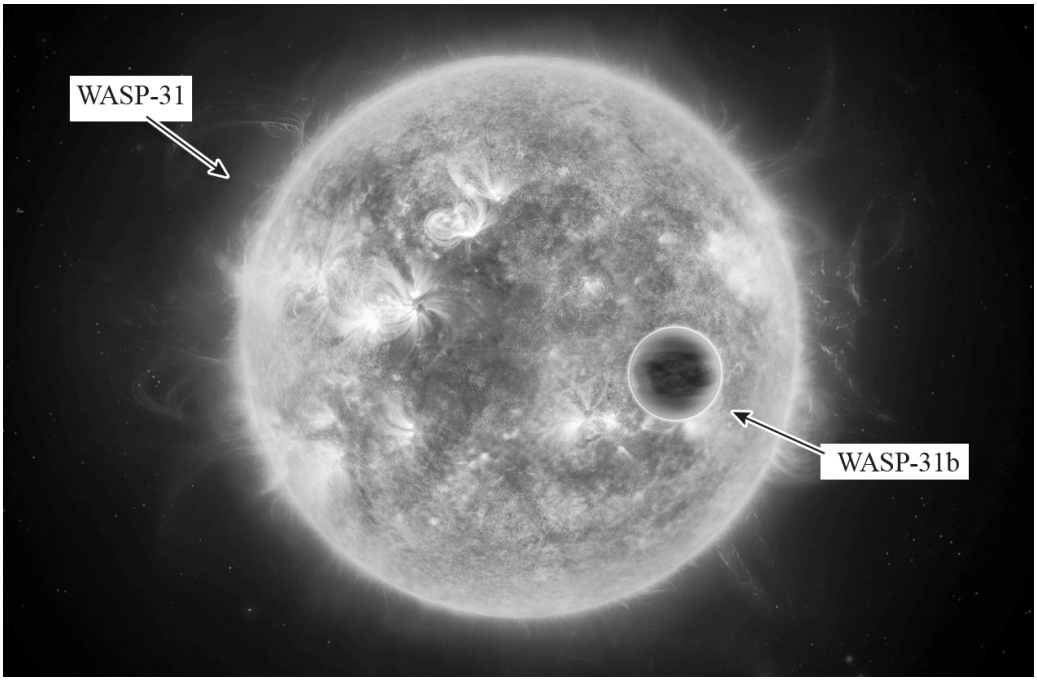
5p **19** Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de grafiek voor leverweefsel.
- Leg met behulp van de grafiek en Binas-tabel 28F of ScienceData-tabel 5.9 uit of het contrast het grootst is bij kleine of juist grote fotonenergie.

natuurkundeuitgelegd.nl

WASP-31b is een zogenaamde exoplaneet. Exoplaneten zijn planeten die niet om de zon draaien, maar om een andere ster. De exoplaneet WASP-31b draait om de ster WASP-31. Zie figuur 1 voor een zogenaamde artist's impression. In de rest van deze opgave wordt WASP-31b de exoplaneet genoemd en WASP-31 de ster.
In 2021 is een team van Europese astronomen erin geslaagd om de aanwezigheid van verschillende moleculen aan te tonen in de atmosfeer van de exoplaneet.

figuur 1

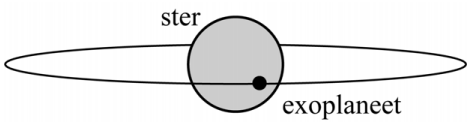


Het totale stralingsvermogen P van de ster is $2{,}0$ keer zo groot als dat van de zon. De oppervlaktetemperatuur van de ster is $6{,}30 \cdot 10^3$ K.

Op de uitwerkbijlage staat een Hertzsprung-Russelldiagram weergegeven.
3p **20** Teken in het diagram op de uitwerkbijlage de positie van de ster. Licht je antwoord toe met een berekening.

Exoplaneten worden vaak ontdekt met behulp van de zogenaamde transitmethode. Als de exoplaneet voor een ster langs beweegt, wordt dat een transit genoemd. Zie figuur 2.

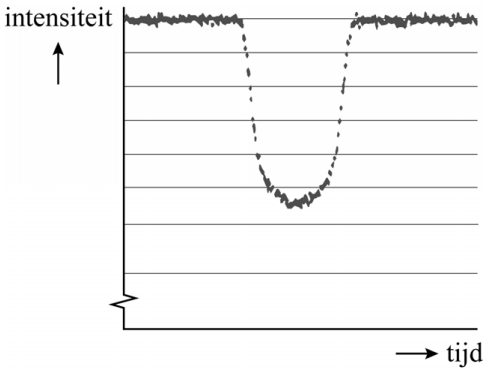
figuur 2



natuurkundeuitgelegd.nl

Tijdens een transit wordt een gedeelte van het licht van de ster geblokkeerd en zal de gemeten intensiteit van de ster tijdelijk afnemen. Zie figuur 3.

figuur 3



De exoplaneet behoort tot de zogenaamde ‘hete jupiters’, een type exoplaneet dat goed te observeren is via de transitmethode. Deze hete jupiters kenmerken zich doordat:
- ze relatief groot zijn, namelijk vergelijkbaar met de grootte van de planeet Jupiter,
- de baanstraal relatief klein is en de exoplaneet daardoor een kleine omlooptijd heeft.

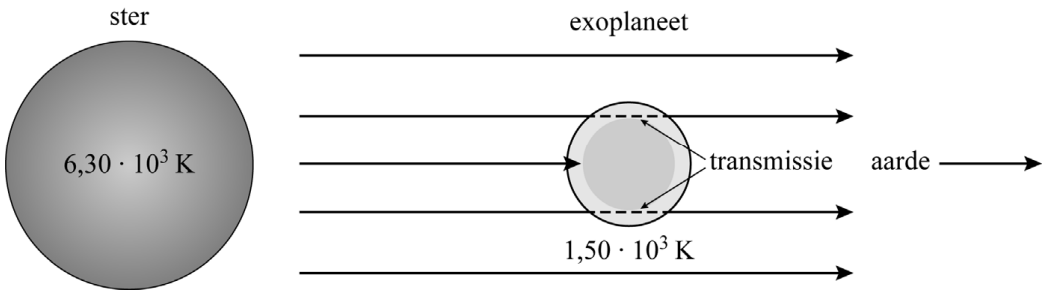
2p **21** Geef, voor elk van beide kenmerken, een reden waardoor dit kenmerk zorgt voor een grotere kans op ontdekking via de transitmethode.

De massa van de ster is $1{,}2$ keer zo groot als de massa van de zon. De exoplaneet voert een cirkelbeweging uit met een baansnelheid van $1{,}5 \cdot 10^5$ ms^{-1}.

4p **22** Bereken de verhouding tussen de baanstraal van de exoplaneet en die van Jupiter.

De exoplaneet heeft een eigen atmosfeer. Het licht van de ster kan hier doorheen schijnen (transmissie). Zie figuur 4. Door dit licht te onderzoeken kan informatie verkregen worden over de samenstelling van de atmosfeer van de exoplaneet.

figuur 4

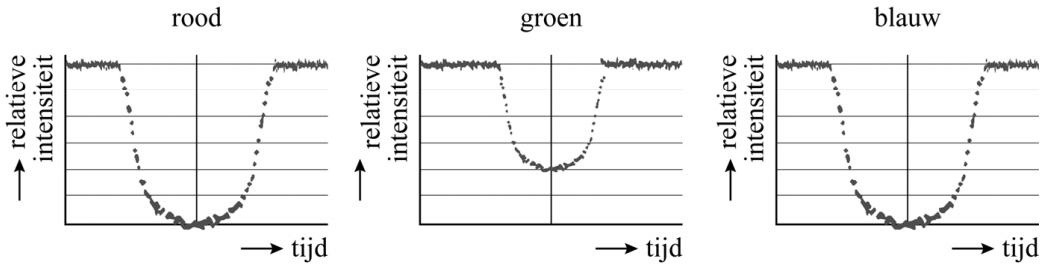


1p **23** Geef aan of het licht dat op aarde wordt waargenomen een absorptiespectrum of een emissiespectrum van de atmosfeer van de exoplaneet laat zien.

natuurkundeuitgelegd.nl

Door de transit van de exoplaneet bij verschillende golflengtes waar te nemen, kan de atmosfeer van de exoplaneet onderzocht worden. Dit principe kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van een simulatie, waarin het effect wordt berekend van de atmosfeer van de exoplaneet op de gemeten intensiteit bij verschillende golflengtes. Door een bepaalde samenstelling van de atmosfeer van de exoplaneet aan te nemen, kan berekend worden hoe de meting van figuur 3 eruit zou zien bij verschillende golflengtes. Drie van deze simulaties staan in figuur 5.

figuur 5

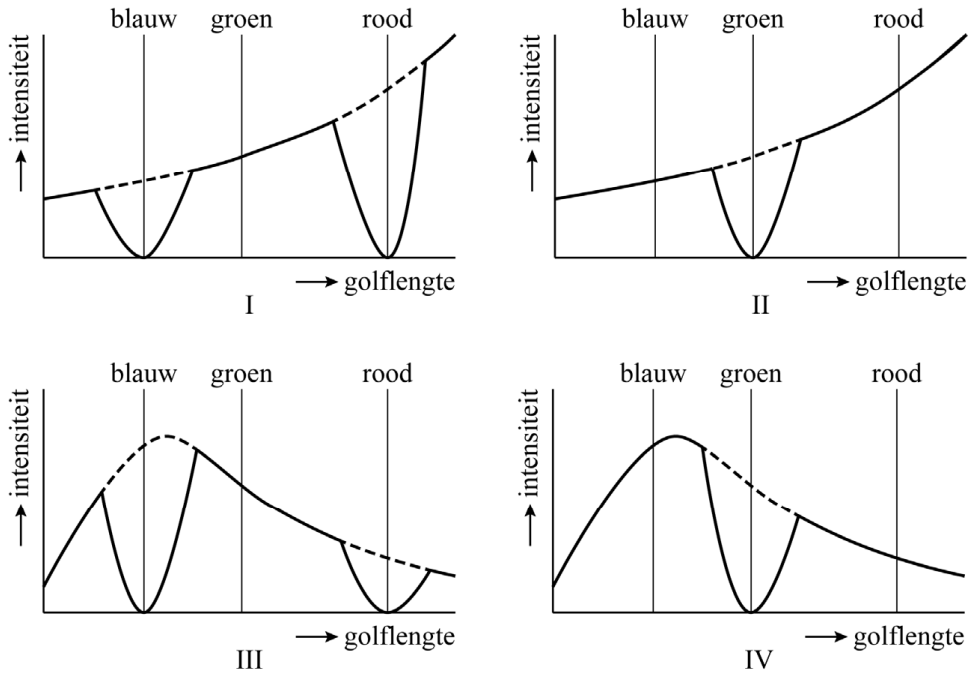


In het model waarmee deze berekeningen zijn gedaan, is uitgegaan van twee opties: óf het licht van de betreffende golflengte gaat ongehinderd door de atmosfeer van de exoplaneet heen, óf het wordt volledig tegengehouden.
Met behulp van de grafieken van figuur 5 is het mogelijk het spectrum te reconstrueren dat tijdens een transit gemeten wordt. In figuur 6 zijn vier mogelijkheden weergegeven. De stippellijn geeft hierbij de situatie aan wanneer het licht niet zou worden tegengehouden door de atmosfeer.

Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 6



2p **24** Leg uit welk spectrum in figuur 6 (I, II, III of IV) overeenkomt met de simulaties in figuur 5.

Bronvermelding

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

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