

2025-2026

6V SE2.1 Sterrenkunde OEFENTOETS vwo 6

PTA: 14

2 uur en 30 minuten

Natuurkunde

Opgavenblad

Bij deze toets hoort een uitwerkbijlage.

Deze toets bestaat uit 22 vragen. Voor deze toets zijn maximaal 65 punten te behalen. Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

De volgende hulpmiddelen zijn toegestaan:

- Binas
- Rekenmachine
- Nederlands woordenboek

Als bij een vraag een verklaring, uitleg of berekening vereist is, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg of berekening ontbreekt.

Open vragen

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.

INTERNATIONAL SPACE STATION (ISS)

Het ISS draait op een afstand van 420 km boven de aarde met een omlooptijd van 93 minuten.

- 4p **1** Bereken met energiebehoud welke snelheid ISS vanaf de aarde moet hebben meegekregen om de baan op een hoogte van 420 km te bereiken. Ga ervan uit dat hij die snelheid vanaf de lancering meekrijgt. Je mag de luchtweerstandskracht verwaarlozen.

Er is zelfs op 420 km boven de aarde uiteraard wel luchtweerstand, waardoor voortdurend moet worden gecompenseerd door toevoeging van kinetische energie. Zonder die extra energie verliest het ISS hoogte om in een baan om de aarde te kunnen blijven bewegen.

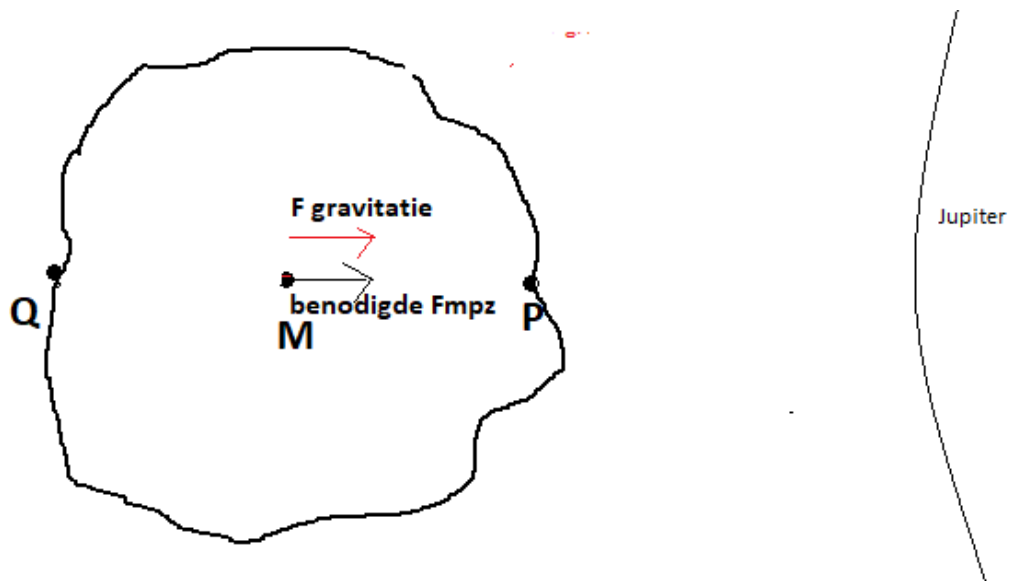
- 2p **2** Leg dit uit met behulp van energiebehoud.
- 2p **3** Ook worden er voortdurend bouwmaterialen aangeleverd bij het ISS. Hierdoor neemt de massa van het ISS toe. Verklaar de volgende twee uitspraken:
- a. Als er uitsluitend binnen in het ISS wordt gebouwd, is er geen extra kinetische energie nodig om in de baan te blijven.
 - b. Als er aan de buitenkant wordt aangebouwd, is er wel extra kinetische energie nodig om in de baan te blijven.

KOMEET SHOEMAKER LEVY

De inslag van de brokstukken van de komeet Shoemaker-Levy op Jupiter in 1994 was live te volgen doordat bij toeval het ruimtevaartuig Gallileo daar in de buurt was. Het was de eerste keer in de geschiedenis dat we een botsing tussen een komeet en een planeet live konden waarnemen. Een reconstructie doet vermoeden dat de relatief grote komeet oorspronkelijk op weg was naar de zon. Rond 1929 kwam de komeet in een baan om Jupiter binnen op een hoogte van ongeveer 0,3 keer de straal van Jupiter. De omlooptijd is dan ongeveer 2 jaar.

- 3p **4** Toon met een berekening aan dat de baan om Jupiter dan geen cirkelbaan kan zijn geweest.

In 1993 wordt de komeet voor het eerst waargenomen. Hij is dan al uiteengevallen in 21 brokstukken door het zogenaamde “getijdenkrachtveld” van Jupiter. Dit betreft het effect van het verschil in gravitatiekracht van Jupiter op de massapunten (bijvoorbeeld Q, M en P) van de om hem heen draaiende komeet. Zie figuur 1. Deze punten hebben dezelfde snelheid v en omlooptijd T maar een andere baanstraal r . De gravitatiekrachten die de middelpuntzoekende krachten moeten leveren, kloppen hierdoor niet meer met de benodigde middelpuntzoekende krachten waardoor spanningen in het materiaal van de komeet ontstaan. Dit gaat goed zolang de onderlinge bindingskrachten van het materiaal de komeet bij elkaar houden. Zo niet, dan valt de komeet uit elkaar.



Figuur 1

Het verband tussen de baanstraal r en de benodigde middelpuntzoekende kracht F_{mpz} op een massa m met omlooptijd T kan ook worden weergegeven met: $F_{mpz} = \frac{4m\pi^2 r}{T^2}$.

- 3p **5** Voer de volgende opdrachten uit.
- Leid deze formule af met behulp van formules uit je tabellenboek.
 - Leg daarmee uit dat F_{mpz} op een massa m recht evenredig is met de baanstraal r als de omlooptijd T en de massa gegeven zijn.

In figuur 1 zie je een schets van de Shoemaker komeet in een baan om Jupiter. M is het zwaartepunt van de komeet en de punten Q en P liggen op een relevant andere afstand r van Jupiter. Ook zijn voor het zwaartepunt de vectorpijlen van de benodigde middelpuntzoekende kracht en de gravitatiekracht weergegeven. Figuur 1 is niet op schaal en staat vergroot op je werkblad.

- 3p **6** Teken in de figuur op je werkblad de vectoren in Q en P van de gravitatiekrachten en benodigde middelpuntzoekende krachten voor een cirkelbaan om Jupiter. Laat met de lengte van de pijlen duidelijk zien of deze vectoren groter, kleiner of gelijk zijn aan de vectoren die in M getekend zijn. Licht je antwoord toe.

De komeet valt uiteen. Als de zes grote en vijftien kleine brokstukken worden ontdekt, bewegen ze als een goederentrein achter elkaar in een zeer sterk excentrische baan om Jupiter met een omlooptijd van 2 jaar.

- 4p **7** Verklaar, eventueel aan de hand van figuur 1, de volgende uitspraken:
- De komeet valt uit elkaar als de binding in het materiaal niet voldoende is.
 - Alle brokstukken, ondanks het verschil in afmeting, zullen in dezelfde baan (van M) terecht komen.

Door gravitationele verstoringen van de zon werd de baan in 1994 zo excentrisch dat de kortste afstand tot het middelpunt van Jupiter kleiner dan de straal van Jupiter werd. Hierdoor kwam de komeettrein met een totale massa van ongeveer $8,6 \cdot 10^{12}$ kg in zijn geheel de 5000 km hoge ijle atmosfeer van Jupiter binnen met een snelheid van $6,1 \cdot 10^4$ m/s. Beschouw de brokstukken van de komeet voor de volgende berekeningen als één geheel.

- 4p **8** Toon aan dat de totale hoeveelheid energie die de brokstukken bij het binnenkomen van de atmosfeer samen bezitten ten opzichte van het oppervlak van Jupiter $1,7 \cdot 10^{22}$ J is.

Door wrijving in de ijle atmosfeer verliezen de brokstukken hoogte, waarna ze uiteindelijk met hoge snelheid één voor één op het “oppervlak” van Jupiter terecht komen. De totaal vrijgekomen energie bij de inslagen schijnt volgens bronnen het effect te hebben gehad van iets minder dan 300 miljoen atoombommen. De energie van één atoombom is minimaal 15 kiloton TNT. Eén ton TNT komt overeen met $4,2 \cdot 10^9$ J.

- 3p **9** Controleer met een berekening of dit aantal atoombommen ongeveer klopt. Je mag de wrijving in de atmosfeer verwaarlozen.

TEMPERATUUR OP VENUS

De temperatuur van de planeet Venus kun je berekenen aan de hand van de uitgezonden straling en de wet van Stefan-Boltzman:

$$I_{\text{uitgestraald door planeet}} = \sigma T^4$$

De intensiteit van de uitgestraalde straling is bij een constante gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de planeet gelijk aan de intensiteit van de ontvangen straling van de zon. Deze ontvangen intensiteit van de straling heet de zonneconstante. De wet van Stefan-Boltzmann geldt alleen voor een zwarte straler.

- 1p **10** Wat is een zwarte straler?

Venus heeft een zonneconstante die ongeveer twee keer zo groot is als die van de aarde. Als we uitgaan van een zwarte straler kunnen we heel eenvoudig beredeneren hoe hoog de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van Venus moet zijn als die van de aarde gemiddeld 15 °C is.

- 3p **11** Beredeneer dat in het geval van een zwarte straler de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van Venus bij benadering 342 K zou zijn.

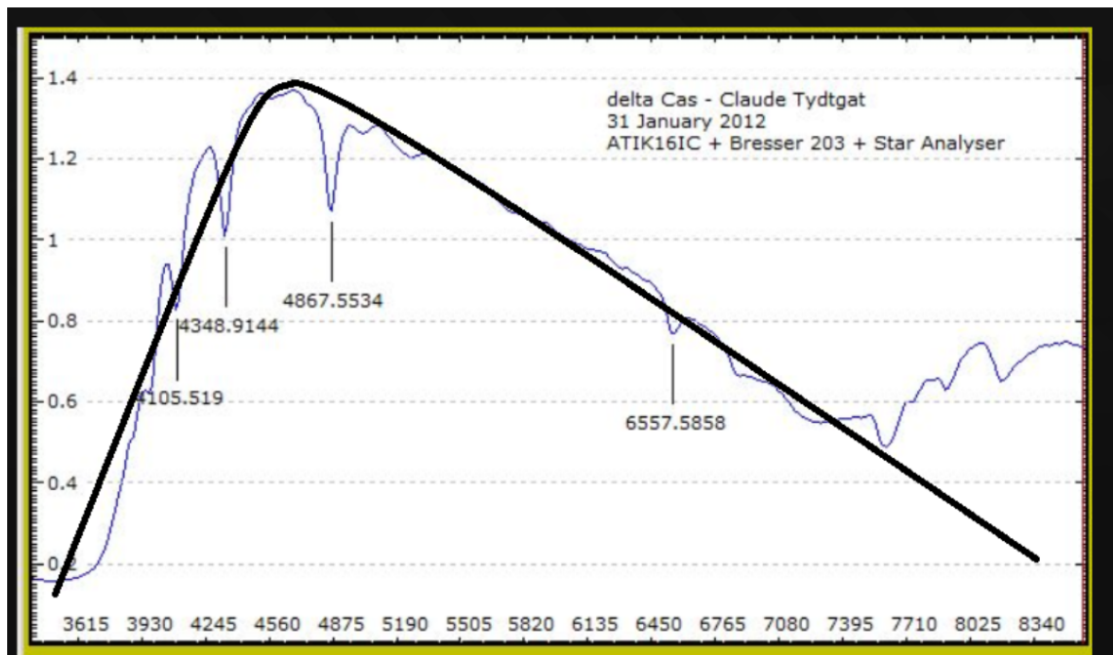
In je tabellenboek staat dat Venus een gemiddelde oppervlaktetemperatuur heeft van 737 K. Het grote verschil wordt vooral verklaard door de zeer dichte atmosfeer van Venus waardoor er veel reflectie en absorptie is. De werkelijke temperatuur van Venus is vastgesteld door een meetsatelliet aan de schaduwkant van Venus het spectrum te laten meten.

4p **12** Maak de volgende opdrachten:

- Leg aan de hand van een berekening uit welke sensor de meetsatelliet in elk geval moet hebben om het spectrum van Venus te kunnen meten.
- Verklaar waarom aan de schaduwzijde van Venus gemeten moet worden.

DELTA CASSIOPEDIA

In figuur 2 is het emissiespectrum van Delta Cassiopeia te zien dat door sterrenwacht Halley is opgenomen. In het spectrum is een aantal typische sterke absorptielijnen van waterstof zichtbaar. De golflengtes die er bij horen zijn in het spectrum aangegeven. De eenheden zijn in ångström ($\text{\AA}$) waarbij $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$. De afbeelding staat ook vergroot op je werkblad.



Figuur 2

2p **13** Leg uit tot welke lijnenreeks de absorptielijnen in het waterstofspectrum behoren die in het spectrum van Delta Cassiopeia zichtbaar zijn.

De temperatuur op Delta Cassiopeia is 7980 K.

De ster bevindt zich 99,4 lichtjaar bij ons vandaan. De straal van de ster is $3,90 R_{\text{zon}}$.

- 5p **14** Toon met een berekening aan dat de intensiteit van de ster net buiten de aardatmosfeer $1,91 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$ is.

De op aarde gemeten intensiteit kun je ook berekenen met behulp van het spectrum. Daarvoor heb je de eenheid langs de y-as nodig. Figuur 2 toont maar een deel van het totale spectrum en vermeldt niet wat de eenheid langs de y-as is. Ga ervanuit dat dit $10^x \text{ W m}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ is. In het spectrum is een dikke zwarte lijn weergegeven. Je mag deze lijn beschouwen als de vervanger voor de echte grafieklijn.

- 5p **15** Maak de volgende vragen:
- Bepaal met behulp van de figuur op het werkblad de intensiteit van de ster op aarde aan de hand van het in de figuur gegeven meetgebied en druk deze intensiteit uit in 10^x W m^{-2} .
 - Vergelijk deze intensiteit met die van de berekende intensiteit uit de vorige vraag en stel vervolgens vast hoe groot de 10 macht in de eenheid $10^x \text{ W m}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ langs de y-as is.

Het stralingsvermogen van Delta Cassiopedes is 74,88 keer dat van de zon.

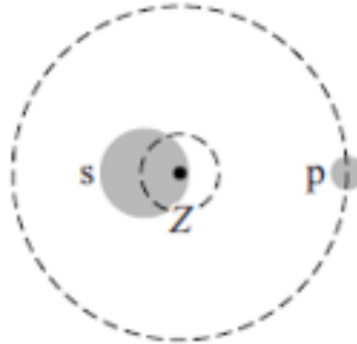
- 2p **16** Bereken waar de ster in het Hertzsprung-Russelldiagram moet staan en geef dit aan met een rondje in het HR-diagram op je werkblad.

Vergelijk in het HR-diagram de witte dwerg Sirius B met Sirius, die op de hoofdreeks ligt.

- 3p **17** Bepaal hoeveel keer zo hoog of laag de temperatuur op Sirius B is ten opzichte van Sirius.

EXOPLANEET

Proxima Centauri (0,123 keer zo zwaar als de zon) is de ster die het dichtst bij de aarde staat. Een (exo)planeet bij die ster is daarom interessant voor onderzoek naar mogelijk leven op die planeet. De eerste exoplaneet, met de naam Proxima b, is ontdekt doordat astronomen waarnamen dat de ster een cirkelbeweging leek te maken. Dat kan alleen als er een kracht op de ster wordt uitgeoefend. Vaak wijst dit dan op de aanwezigheid van een planeet waardoor ster (s) en planeet (p) om een gemeenschappelijk punt Z gaan cirkelen. Zie figuur 3.



Figuur 3

- 1p **18** Leg uit welke kracht de middelpuntzoekende kracht levert die maakt dat ook de ster s een cirkelbeweging maakt om het gemeenschappelijk punt Z.

Voor eventuele haalbaarheid voor kolonisatie zijn een aantal eigenschappen belangrijk. Onder andere de valversnelling, de reistijd, de temperatuur en de aanwezigheid van water. De exoplaneet Proxima b lijkt qua afmetingen erg op de aarde. De massa van de exoplaneet is 1,3 keer die van de aarde en de straal 1,2 keer die van de aarde. De exoplaneet draait in 11 dagen om de ster.

- 3p **19** Bereken met verhoudingen de valversnelling op de exoplaneet, uitgedrukt in g .

Voor de mogelijkheid van water en een acceptabele temperatuur is de afstand tot de ster belangrijk. Deze afstand r is te berekenen met behulp van de omlooptijd T van de planeet en de massa M van de ster. De formule die hoort bij de derde wet van Kepler is hiervoor erg handig:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

- 3p **20** Leid deze wet af met behulp van formules uit je tabellenboek.
- 2p **21** Bereken de afstand van Proxima b tot haar ster. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

De exoplaneet is 4,2 lichtjaar van de aarde verwijderd. In 2021 ging het snelste ruimtevaartuig met een snelheid van 0,06 % van de lichtsnelheid op weg naar proxima b.

- 3p **22** Beredeneer of proxima b op dat moment qua afstand een optie was voor een aardse kolonie. Bereken daartoe eerst de reistijd in aardse jaren zonder rekening te houden met andere krachten in het heelal. Ga uit van een constante snelheid.