

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2026

30 januari 2026

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2026! Zoals uitgelegd op de website mag je deze Olympiade thuis oplossen, met al het opzoekwerk dat je nodig acht. De beste vijf inzendingen worden uitgenodigd om deel te nemen aan de tweede ronde van de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade en strijden voor de hoofdprijzen. De tweede ronde gaat door op zaterdag 2 mei 2026. De winnaar mag – naar keuze – gaan waarnemen met de Mercatortelescoop op La Palma (Canarische Eilanden), inclusief reis en verblijf, of wordt de trotse eigenaar van een Celestron NexStar 8SE telescoop (of gelijkaardig).

Het is de bedoeling dat je de onderstaande vragen oplost en je antwoorden aan ons bezorgt, uiterlijk op **6 april 2026** (om 23.59 h). Dit kan elektronisch via e-mail naar deelname@sterrenkundeolympiade.be of per post naar het adres:

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade
Vereniging Voor Sterrenkunde
Zeeweg 96
8200 Brugge

Let zeker op de volgende aandachtspunten:

- De wedstrijd staat open voor alle leerlingen aan een Vlaamse secundaire school.
- Elke inzending moet vergezeld zijn van het standaard deelnameformulier. In principe is het de bedoeling dat de deelnemers de vragen individueel beantwoorden. Een samenwerkingsverband van meerdere deelnemers is mogelijk (maar wordt eigenlijk afgeraden), op voorwaarde dat alle deelnemers vermeld worden. Er kan echter hoogstens één van de deelnemers van dergelijk samenwerkingsverband tot de finale toegelaten worden. Inzendingen van verschillende deelnemers die overduidelijke gelijkenissen met elkaar vertonen, zullen door de jury als één enkele inzending beschouwd worden.
- De opgaven mogen op gewoon papier geschreven worden. Het is dus niet nodig de antwoorden via tekstverwerker op te maken (maar het mag wel natuurlijk). Digitaal insturen kan door de antwoorden te scannen (bij voorkeur in PDF-formaat). Je mag tekst schrijven, berekeningen doen, diagrammen maken of wat je zelf ook maar nodig acht om de vragen goed te kunnen beantwoorden.
- Elke vragenreeks dient op een nieuw (afzonderlijk) blad gestart te worden.
- Schrijf alle antwoorden duidelijk en overzichtelijk op. Zorg ervoor dat je antwoorden duidelijk leesbaar zijn. Let ook op het gebruik van de juiste eenheden.
- Niet alle vragen zijn even gemakkelijk. Raak hierdoor niet ontmoedigd! Deze olympiade is samengesteld om de beste inzenders te kunnen selecteren en wellicht is er geen enkele inzender die de olympiade perfect maakt. Kortom: ook als je maar een deel van de vragen hebt kunnen

maken: stuur vooral je uitwerkingen in! Er worden immers ook prijzen verloot onder de inzenders die niet tot de finale doorstoten.

- Denk eraan dat opgaven en antwoorden van vorige jaren terug te vinden zijn op onze website www.sterrenkundeolympiade.be (bij 'voorbeelden'). Dit kan wellicht soms inspiratie opleveren.
- Vragen kunnen bij eerste lezing soms moeilijk of onbegrijpelijk overkomen. Lees in elk geval altijd eerst de volledige vraag, omdat verder in de vraag soms elementen kunnen aangereikt worden die zaken verklaren die eerst onduidelijk leken. Ook meerdere keren een vraag herlezen, kan je in vele gevallen helpen.
- Voor sommige opgaven zal je niet alle benodigde informatie voorhanden hebben. Het is dus goed mogelijk dat je een begrip (bijvoorbeeld supernova, dichtheidsprofiel, ...), getal (bijvoorbeeld de massa van de Zon, de constante van Boltzmann, ...) of symbool (M_{\odot} , ...) op internet of in een boek wil opzoeken. Dit mag je dan ook doen waar je dat maar nuttig lijkt, maar je vermeldt best je bron hierbij. De bronvermelding speelt mee als criterium bij de beoordeling van je antwoorden.
- We waarschuwen voor het gebruik van AI-tools (ChatGPT, Gemini, DeepSeek, ...). De organisatie heeft diverse vragen voorgelegd aan AI-tools, en is daarbij zeer vaak op foutieve antwoorden gestoten. Overigens werd soms ook AI ingezet om foutieve antwoorden op de meerkeuzevragen te genereren.
- Voor de meerkeuzevragen is geen motivatie vereist. Daar volstaat het antwoord, samen met een verplichte bronvermelding (die ook 'parate kennis' kan zijn). Voor elke vraag is er één en slechts één van de geboden antwoordalternatieven correct (tenzij het uitdrukkelijk anders is vermeld); in geval van twijfel geef je het 'beste' alternatief. Ben je er vast van overtuigd dat er toch meerdere goede alternatieven zijn, leg dan zeker uit waarom. Bij het beoordelen van de antwoorden is er geen giscorrectie van toepassing.
- Voor de open vragen wordt voor elk antwoord een motivatie verwacht. Een getal als uitkomst alleen verdient geen punten. Laat met een berekening zien hoe je aan een getal komt, en leg uit wat je doet om tot het antwoord te komen. Kan je een getal niet precies uitrekenen, maar weet je wel ongeveer wat je zou moeten doen, schrijf dit dan ook op!
- Bewaar een eigen kopietje van je antwoorden, want na het afsluiten van de eerste ronde zetten we de oplossingen en uitwerkingen op onze website, zodat je zelf alvast kunt kijken hoe je het hebt gedaan.
- De olympiade wordt nagekeken door een daarvoor aangewezen commissie. Over de uitslag kan niet worden gediscussieerd.

Heel veel succes!

Het organiserend comité van de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2026: Luka Banović, Yari Depaep, Myrthe Flossie, Wout Goesaert, Thomas Mattheussen, Frank Tamsin, Jelle Vandersnickt, Mathijs Vanrespaille.

<http://www.sterrenkundeolympiade.be>
info@sterrenkundeolympiade.be



Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2026

Deelnameformulier

Naam:	.....
Voornaam:	.....
Straat en nummer:	.....
Postcode en gemeente:	.....
Geboortedatum:	.....
E-mail:	.....
Telefoon:	.....
Naam van de school:	.....
Adres van de school:	.....
Leerjaar en studierichting:	.....
Leraar fysica:	naam:
	e-mail:
Leraar aardrijkskunde:	naam:
	e-mail:
Leraar wiskunde:	naam:
	e-mail:
Hoe werd je op de hoogte	.....
gebracht van de	.....
Sterrenkundeolympiade:	.....

Meerkeuze vragenreeks

1. Hoeveel kleiner of groter zal de oppervlakte van de zonneschijf aan de hemel voor een rover op Mars lijken aan het einde van dit jaar (2026) in vergelijking met het begin van dit jaar?

- a) 25% kleiner
- b) 13% kleiner
- c) geen verschil
- d) 15% groter
- e) 33% groter

2. De Galileïsche manen (naar ontdekker Galileo Galilei) behoren tot de grootste in ons zonnestelsel. Doorheen afgelopen decennia sterkten observaties het geloof dat op drie van die manen – Europa, Ganymedes en Callisto – een zoute oceaan te vinden is, onder een oppervlaktelaag ijs. Zijn de omstandigheden in die oceanen geschikt voor de ontwikkeling van leven? De vraag leeft steeds meer. De ESA lanceerde op 14 april 2023 de Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE) ruimtesonde, met de Galileïsche manen als bestemming. Welke van volgende uitspraken is correct?

- a) De ruimtesonde zal de oceanen bestuderen door stalen te nemen, die lokaal te analyseren en informatie over de compositie door te seinen naar de Aarde.
- b) De ruimtesonde zal de oceanen bestuderen door het zwaartekrachtsveld van de manen, en variaties in dat veld omwille van maan-maan interacties, in kaart te brengen.
- c) De ijslagen zijn zo dik dat ze ons verhinderen enige informatie te verkrijgen over de omstandigheden in de oceanen.
- d) Zowel a) als b) zijn correct.
- e) Geen enkele van bovenstaande antwoorden is correct.

3. Hoe verschillen vulkanen op de polen van het Jupitermaantje Io van vulkanen op de evenaar?

- a) Vulkanen aan de polen geven minder energie af dan vulkanen aan de evenaar.
- b) Aan de polen komen minder vulkanen voor dan aan de evenaar.
- c) Vulkanen aan de polen geven meer energie af dan vulkanen aan de evenaar.
- d) Aan de polen komen meer vulkanen voor dan aan de evenaar.
- e) Er is geen enkel onderscheid tussen vulkanen aan de polen en vulkanen aan de evenaar.

4. Je staat op de Maan op 12 augustus 2026. Wat is absoluut onmogelijk?

- a) Je ziet de schaduw van de Maan op de Aarde.
- b) Je ziet in één oogopslag tegelijkertijd plekken op de Aarde waar de Zon opkomt en andere plekken waar de Zon ondergaat.
- c) Je ziet de Aarde en de Zon hoog aan de hemel staan.
- d) Je ziet het oppervlak van de Maan.
- e) Niets van de bovenstaande zaken is onmogelijk.

5. Het interval tussen twee opeenvolgende opposities van een bepaalde planeet is 373,1 dagen.

Welke planeet is het?

- a) Mars
- b) Jupiter
- c) Saturnus
- d) Uranus
- e) Dit is niet mogelijk.

6. Welke uitspraak over zonnevlekken is correct?

- a) Ze zijn heter dan hun omgeving maar lijken donker door lagere emissiviteit.
- b) Ze hebben een sterker magnetisch veld dan hun omgeving.
- c) Ze bestaan uit kouder, maar dichter plasma.
- d) Ze ontstaan door kernreacties aan het oppervlak.
- e) Geen van bovenstaande uitspraken is correct.

7. De Zon roteert differentieel: de evenaar draait sneller dan de polen. Wat is een direct gevolg van deze differentiële rotatie?

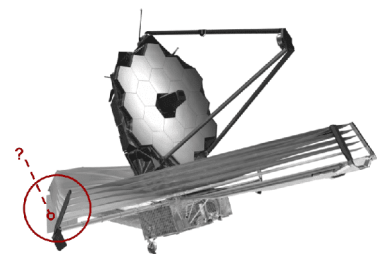
- a) Magnetische veldlijnen van de Zon worden getwist en opgehoopt, wat zonnevlekken en coronale massa ejecties veroorzaakt
- b) De vorm van de Zon verandert significant.
- c) De fotosfeer wordt homogeen van temperatuur.
- d) De kernrotatie vertraagt en de energieproductie neemt af.
- e) De differentiële rotatie heeft geen invloed op de hierboven vermelde fenomenen.

8. Een zonnecyclus duurt ongeveer 11 jaar. Welke van de volgende eigenschappen verandert systematisch tijdens een zonnecyclus?

- a) De gemiddelde temperatuur van individuele zonnevlekken.
- b) De gemiddelde helderheid van de fotosfeer.
- c) Het aantal zonnevlekken en hun magnetische polariteit.
- d) De massa van de Zon.
- e) De centrale temperatuur van de Zon.

9. Wat is de naam van de JWST-component die hiernaast is aangeduid?

- a) Antenne
- b) Zonneschild
- c) Optisch subsysteem
- d) Stabilisatieklep
- e) Geen van bovenstaande



10. Welk instrument is geen onderdeel van de Very Large Telescope?

- a) MUSE
- b) X-SHOOTER
- c) MICADO
- d) MATISSE
- e) Alle genoemde instrumenten maken deel uit van de VLT.

11. De Euclid ruimtetelescoop is ontworpen om waar te nemen op een golflengte van 550 nm tot 2 μ m. De primaire spiegel is cirkelvormig en heeft een diameter van 1,20 meter. Wat is de beste hoekresolutie die deze telescoop kan halen?

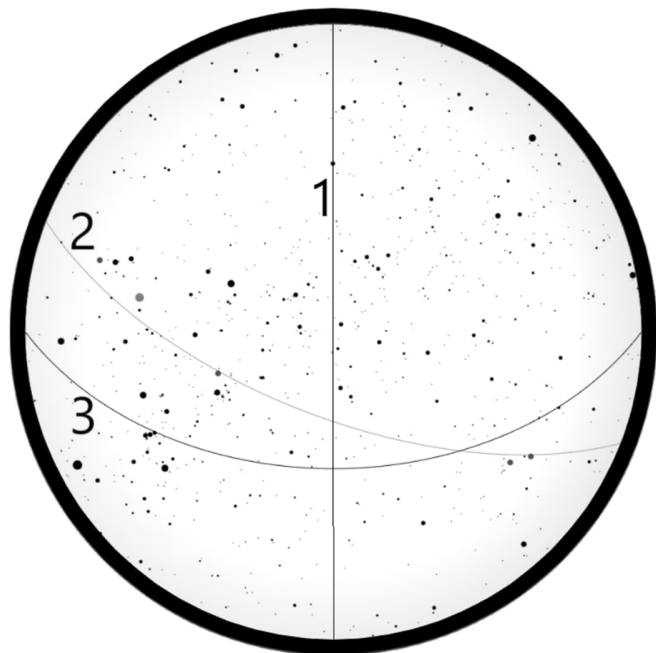
- a) 0,115"
- b) 0,176"
- c) 0,419"
- d) 1,76"
- e) 2,4"

12. Surf naar <https://nso.edu/for-public/exciting-events/>. In welk van onderstaande landen zal de totale zonsverduistering in augustus 2026 mooi te zien zijn? Je kan hiervoor de Solar Eclipse Map gebruiken die terug te vinden is op bovenstaande website.

- a) Duitsland
- b) België
- c) Spanje
- d) Verenigd Koninkrijk
- e) Zwitserland

13. Benoem elk van de genummerde lijnen op de figuur hiernaast.

- a) 1 - Ecliptica; 2 - Hemelevenaar; 3 - Lokale meridiaan
- b) 1 - Lokale meridiaan; 2 - Ecliptica; 3 - Galactische evenaar
- c) 1 - Galactische evenaar; 2 - Hemelevenaar; 3 - Ecliptica
- d) 1 - Lokale meridiaan; 2 - Ecliptica; 3 - Hemelevenaar
- e) 1 - Lokale meridiaan; 2 - Hemelevenaar; 3 - Ecliptica



14. Waarom zien we verschillende sterrenbeelden op verschillende momenten van het jaar?
- De richting waarin we 's nachts naar de hemel kijken, verandert doordat de Aarde rond de Zon draait.
 - Sterren bewegen door de ruimte, waardoor hun positie ten opzichte van elkaar over de tijdspanne van een jaar verandert.
 - De rotatie-as van de Aarde verandert van richting doorheen het jaar.
 - Sterrenbeelden draaien één keer rond de Aarde in de loop van een jaar.
 - De sterrenbeelden blijven hetzelfde, maar doordat de Aarde rond de Zon draait, kijken we doorheen het jaar vanuit een andere hoek waardoor hun projectie aan de hemel anders lijkt.

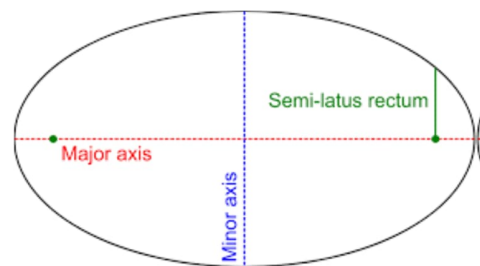
15. Wat is het grootste bereik van breedtegraden ϕ waarvoor de verbindinglijn tussen de sterren Rigel ($\alpha_R = 5^h 14^m 32^s$, $\delta_R = -8^\circ 12' 5.9''$) en Betelgeuse ($\alpha_B = 5^h 56^m 33^s$, $\delta_B = 7^\circ 24' 40.3''$) op een bepaald moment van de dag verticaal lijkt? Geef het antwoord met een nauwkeurigheid van 5 graden.

- $-15^\circ < \phi < +15^\circ$
- $-25^\circ < \phi < +25^\circ$
- $-35^\circ < \phi < +35^\circ$
- $-45^\circ < \phi < +45^\circ$
- $-55^\circ < \phi < +55^\circ$

16. De baan van een komeet heeft een excentriciteit $e = 0,12$ en de lengte van de halve lange baanas bedraagt $a = 4$ AE (astronomische eenheden). Als de komeet op Aarde zichtbaar was in 2025, in welk jaar zal ze dan opnieuw te zien zijn?

- 2030.
- 2031.
- 2032.
- 2033.
- 2034.

17. De zogenoemde semi-latus rectum van een ellips is de afstand tussen een van de brandpunten en het punt op de ellips dat zich direct erboven of eronder bevindt, zoals weergegeven op de figuur hiernaast. Beschouw een planeet met een zeer excentrische baan met een semi-latus rectum die bijna honderd keer kleiner is dan de halve grote as. Wat is de excentriciteit van de baan van deze planeet?



- 0,99
- 0,995
- 0,9999
- 0,99995
- 0,999999

18. Welke voorwaarde is nodig om een gas als plasma te beschouwen?

- a) De temperatuur moet hoger zijn dan 106 K.
- b) Het gas moet elektrisch geladen zijn.
- c) De afmetingen van het systeem moeten veel groter zijn dan de Debye-lengte en er moeten veel deeltjes in een Debye-sfeer zitten.
- d) Het gas moet enkel uit ionen bestaan.
- e) Alle vier bovenstaande voorwaarden moeten voldaan zijn.

19. Welke grootheid bepaalt rechtstreeks de piekgolflengte van het spectrum van een ster?

- a) Massa
- b) Straal
- c) Oppervlaktetemperatuur
- d) Lichtkracht
- e) Magnetische veldsterkte

20. De totale lichtkracht van de fictieve ster Arat is $150\times$ groter dan de lichtkracht van onze Zon. Arat is een K-type ster. Hoe verhoudt de straal van Arat zich tot die van onze Zon?

- a) Tussen 27 en 43 keer groter.
- b) Tussen 15 en 27 keer groter.
- c) Tussen 11 en 15 keer groter.
- d) Tussen 8 en 11 keer groter.
- e) Tussen 4 en 8 keer groter.

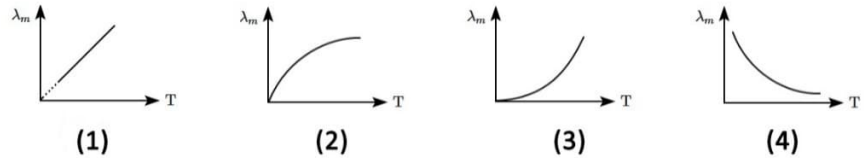
21. Welke uitspraak over witte dwergen is juist?

- a) Ze worden ondersteund door thermische druk.
- b) Hun straal neemt toe met toenemende massa.
- c) Ze bestaan voornamelijk uit neutronen.
- d) Ze worden ondersteund door elektronen-degeneratiedruk.
- e) Geen van bovenstaande uitspraken is correct.

22. De Orionnevel heeft een hoekdiameter van 1° aan de hemel en bevindt zich op een afstand van 412,1 parsec van de Aarde. Wat is de beste schatting voor de tijd die een lichtfoton nodig heeft om de gehele diameter van de nevel te doorkruisen?

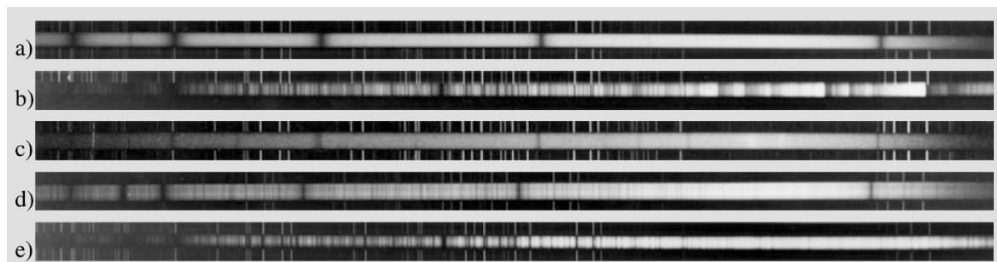
- a) 1,21 jaar
- b) 13,92 jaar
- c) 23,47 jaar
- d) 563,40 jaar
- e) 1345,01 jaar

23. Als λ_m de golflengte is waarbij de stralingsintensiteit van een ster maximaal is en T de effectieve temperatuur is, welke van de grafieken hiernaast geeft dan het verband tussen λ_m en T schematisch weer?



- a) (1)
- b) (2)
- c) (3)
- d) (4)
- e) Dit kan niet afgeleid worden uit de gegeven informatie.

24. Het beeld hiernaast toont de spectra van vijf hoofdreekssterren in het zichtbare deel van het spectrum. Welke van deze sterren



heeft de laagste oppervlaktetemperatuur?

- a) a
- b) b
- c) c
- d) d
- e) e

25. Twee sterren, A en B zitten beide op de hoofdreeks en fuseren waterstof tot helium via de proton-proton reactie. Beide sterren hebben dezelfde samenstelling en opaciteit. In een eerste orde benadering, kennen we schalingswetten voor temperatuur T , dichtheid ρ , druk P en lichtkracht L in termen van straal R , massa M , samenstelling (via het gemiddeld moleculair gewicht μ) en opaciteit κ . Hieruit kan je een evenredigheid afleiden tussen straal en massa. Welke is de juiste?

Je mag aannemen dat $L \propto M \rho T^\nu$, $L \propto \mu^4 M^3 \kappa^{-1}$, $T \propto \mu M R^{-1}$, $P \propto M^2 R^{-4}$, $\rho \propto M R^{-3}$.

- a) $R \propto M^{(\nu-1)/(\nu+3)}$
- b) $R \propto M^{\nu-1/\nu+3}$
- c) $R \propto M^{(\nu+3)/(\nu-1)}$
- d) $R \propto M^{\nu+3/\nu-1}$
- e) Geen van bovenstaande

26. Welke van de volgende beweringen zijn waar voor een sterrenhoop bestaande uit hoofdreekssterren?

(P) Voor twee sterrenhopen met dezelfde totale massa zal de sterrenhoop met het grootste aantal sterren helderder zijn, gemeten in lichtkracht per massa-eenheid.

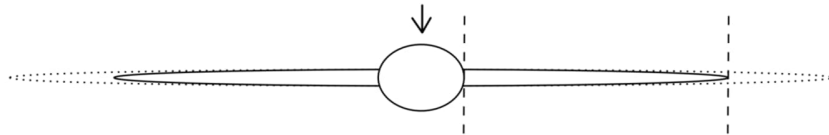
(Q) Het afbuigingspunt van de hoofdreeks voor sterrenhopen ligt bij hogere temperaturen naarmate ze ouder zijn.

(R) Het afbuigingspunt van de hoofdreeks voor sterrenhopen ligt bij lagere lichtkracht naarmate ze ouder zijn.

Neem aan dat de massa-lichtkrachtrelatie $L \sim M^{3.5}$ geldt voor hoofdreekssterren.

- a) Zowel P als R zijn waar.
- b) Enkel P is waar.
- c) Enkel R is waar.
- d) De drie uitspraken (P, Q en R) zijn waar.
- e) Zowel P als Q zijn waar.

27. Wat is de naam van het gebied dat is aangegeven in de schets hiernaast van het 'zijaanzicht' van het Melkwegstelsel?



- a) galactisch centrum
- b) galactische bulge
- c) galactische schijf
- d) galactische halo
- e) galactisch continuüm

28. Twee sterrenstelsels ver weg staan op dezelfde afstand van ons in dezelfde richting. Eén van de twee zendt merkbaar meer blauw licht uit dan de andere. Wat leert dit ons dit?

- a) Het blauwere stelsel is jonger dan de rodere.
- b) Het rodere stelsel is jonger dan de blauwere.
- c) Het blauwere stelsel heeft meer sterren dan het rodere.
- d) Het rodere stelsel is heter dan het blauwere.
- e) Het blauwere stelsel bevat meer stof dan het rodere.
- f) We kunnen hieruit niets afleiden zonder meer informatie.

29. Welke uitspraak klopt wél over “green valley” sterrenstelsels?

- a) De meeste green valley stelsels zitten midden in een overgang van een quiescent stelsel naar een stervormend stelsel.
- b) De activiteit van een actieve galactische kern kan ervoor zorgen dat een stelsel in de green valley terecht komt.
- c) Green valley stelsels staan ook wel bekend als “green peas” omdat ze groen zijn (door sterke OIII-emissie) en compact in afbeeldingen.
- d) Green valley stelsels hebben meestal geen bulge.
- e) Geen van bovenstaande uitspraken klopt.

30. Welk van de onderstaande is een van de redenen waarom we in het huidige universum relatief weinig grote, massieve sterren waarnemen in vergelijking met kleinere sterren met een lagere massa (zoals de Zon)?

- a) Massieve sterren kunnen enkel ontstaan in het centrum van sterrenstelsels, terwijl sterren met een lagere massa overal in het universum kunnen ontstaan.
- b) Massieve sterren hebben een veel kortere levensduur dan sterren met een lagere massa, omdat ze hun brandstof veel sneller verbruiken.
- c) Massieve sterren ontstaan enkel door botsing en samensmelting van twee of meerdere sterren, en zulke gebeurtenissen zijn vrij zeldzaam.
- d) Massieve sterren ontstonden enkel tijdens de beginfase van het heelal, dus de meeste ervan zijn al vergaan.
- e) Massieve sterren komen even vaak voor als sterren met een lagere massa, maar zijn moeilijker waarneembaar omdat ze minder licht uitstralen.



Vraag	Antwoord	Bronvermelding
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		
16.		
17.		
18.		
19.		
20.		
21.		
22.		
23.		
24.		
25.		
26.		
27.		
28.		
29.		
30.		

Open vragenreeks I: Proba 3

Voor deze vragenreeks kan onder andere gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

Universele gravitatieconstante: $G = 6,67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$

Straal van de Zon: $R_{\text{zon}} = R_{\odot} = 696340 \times 10^3 \text{ m}$

Astronomische eenheid: $1 \text{ AE} = 149597871 \times 10^3 \text{ m}$

Massa van de Aarde: $M_{\text{aarde}} = M_{\oplus} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

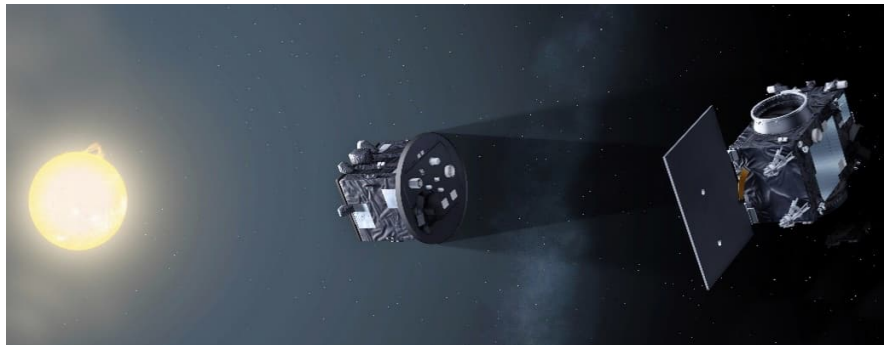
Straal van de Aarde: $R_{\text{aarde}} = R_{\oplus} = 6371 \times 10^3 \text{ m}$

Vraag 1.

De Proba-3 satelliet is de nieuwste ruimtemissie van de ESA die observaties zal maken van de Zon. De satelliet werd succesvol gelanceerd in 2025, en is voor een deel gemaakt in België. België is tevens hoofdonderzoeker voor de data van deze missie. Proba-3 bestaat uit twee satellieten die tijdens de metingen nauwkeurig in formatie vliegen.

- a) Leg in enkele zinnen uit waarom de missie twee satellieten gebruikt en welk voordeel dit biedt ten opzichte van een traditionele coronagraaf.

Veronderstel nu dat de twee satellieten op een gegeven punt in hun baan in lijn met elkaar staan waarbij de “camera-satelliet” zich op een afstand $D = 1 \text{ AE}$ (astronomische eenheid) van het centrum van de Zon bevindt (zie de figuur). De camera op de



camera-satelliet beschouwen als een puntbron. De “afdek-satelliet” beschouwen we als een cirkelvormige schijf en bevindt tussen de camera en de Zon.

- b) Maak een berekening om de afstand tussen beide satellieten te vinden waarbij de afdek-satelliet het zonsoppervlak exact afschermt van de camera (dit wil zeggen de camera mag niets meer van het zonsoppervlak zien, maar tegelijk mag er ook niet meer dan enkel het zonsoppervlak afgedekt worden); daarbij mag de Zon als een perfecte bol beschouwd worden. Geef je berekening weer en geef ook aan welke andere gegevens je gebruikt in je berekening. Druk je resultaat uit in meter en rond af tot 2 cijfers na de komma.
- c) Leg tot slot in enkele zinnen uit waarom een volledige afdekking van het zonsoppervlak essentieel is voor de observaties die Proba-3 tot doel heeft.

Vraag 2

Veronderstel dat de Proba-3 satellieten in formatie in een cirkelvormige baan rond de Aarde bewegen, waarbij de radiale afstand tussen beide banen constant is. Als beide satellieten passief (dit wil zeggen zonder bijsturing) in hun baan rond de Aarde vliegen, zullen ze niet meer perfect opgelijnd blijven na één of meer omwentelingen. In deze vraag kwantificeren we dit in een zeer vereenvoudigde situatie. Veronderstel daartoe dat beide satellieten in een cirkelvormige baan rond de Aarde cirkelen, met de radiale afstand tussen beide banen deze die je in vraag 1 hebt gevonden. Neem aan dat de camera-satelliet het laagst vliegt (bekeken vanop Aarde) op een cirkelvormige baan op een hoogte $h = 600$ km boven het aardoppervlak. Voorts kunnen we veronderstellen dat de massa van beide satellieten verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de massa van de Aarde. Om onder deze assumpties in een stabiele baan rond de Aarde te blijven, kan de snelheid van de satelliet benaderd worden als

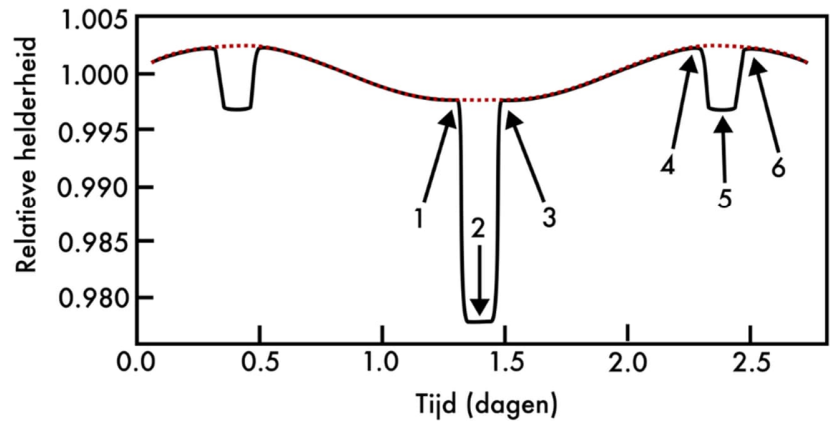
$$v_s \approx \sqrt{\frac{G \cdot M_{\oplus}}{R}}$$

waarbij G de gravitatieconstante is, M_{\oplus} de massa van de Aarde en R de straal van de satellietbaan ten opzichte van het middelpunt van de Aarde.

- Bereken onder bovenstaande aannames de omwentelingsperiode T voor beide satellieten, dat is de tijd die nodig is om één volledige omwenteling rond de Aarde te maken. Geef je berekeningen en tussenstappen duidelijk weer, druk je antwoord uit in seconden en rond je resultaat af tot op 2 cijfers na de komma.
- Hoeveel afstand moet de afdek-satelliet nog afleggen in zijn baan om een volledige omwenteling te voltooien op het moment dat de camera-satelliet één omloop gemaakt heeft? Druk je antwoord uit in kilometer en rond af tot op 2 cijfers na de komma.

Open vragenreeks II: exoplaneet Anirul

Hiernaast is een schets weergegeven van de lichtcurve in zichtbaar licht van een fictief exoplaneetsysteem waarin een planeet voor zijn ster langs beweegt (een zogenaamde transiterende planeet). De planeet zullen we Anirul noemen en de ster Arat. De relatieve helderheid van Arat staat als een volle zwarte lijn getekend als functie van de tijd in dagen. De rode stippellijn duidt de vorm aan van de curve als er geen dipjes zouden geweest zijn en is enkel relevant voor deelvraag 1b.

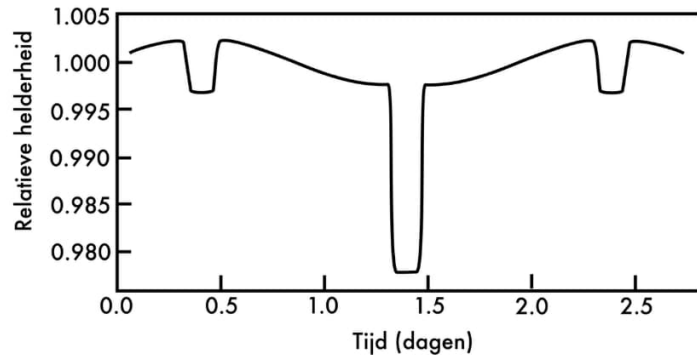


Vraag 1: de lichtcurve

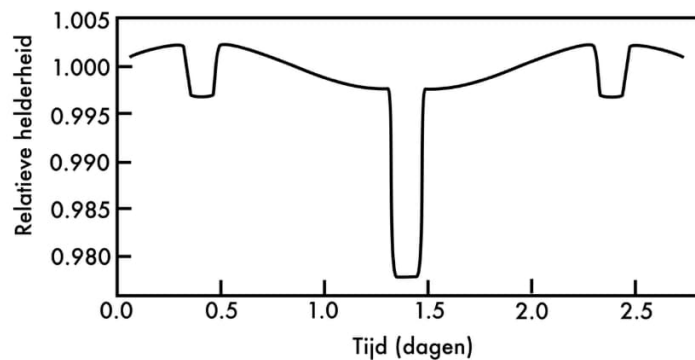
- Verklaar voor elk punt in de lichtcurve dat aangeduid is met een getal wat er op dat punt gebeurt met Anirul en Arat. Dit kan in één enkele zin per getal.
- Waarom lijkt er een golfpatroon in de curve te zitten (rode stippellijn)? Leg uit hoe dit komt.
- Aan de hand van de transit methode vinden we voornamelijk planeten met een korte periode (ongeveer 1 tot 100 dagen) terwijl we met de radiële snelheidsmethode planeten vinden met periodes tot wel 10000 dagen. Leg uit hoe dit komt. Er zijn meerdere redenen mogelijk.
- Wat kun je zeggen over de inclinatie van de baan van Anirul ten opzichte van ons? (Geen gedetailleerde berekening nodig.)

e) Hieronder is de lichtcurve drie keer opnieuw getekend. Overtteken op deze figuren met een andere kleur hoe de lichtcurve eruit had gezien als:

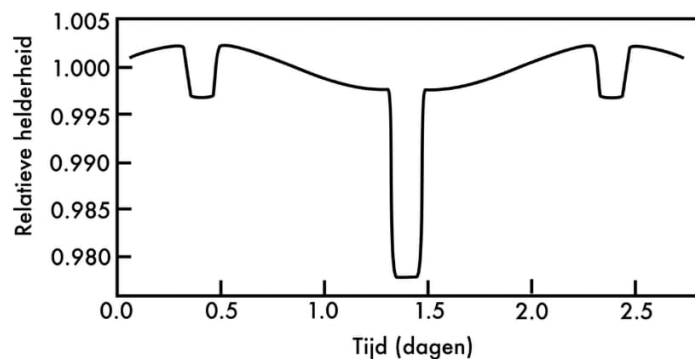
1) De straal van Anirul half zo groot was.



2) De straal van Arat tweemaal groter was. Je mag aannemen dat de massa en lichtkracht van Arat gelijk blijft.



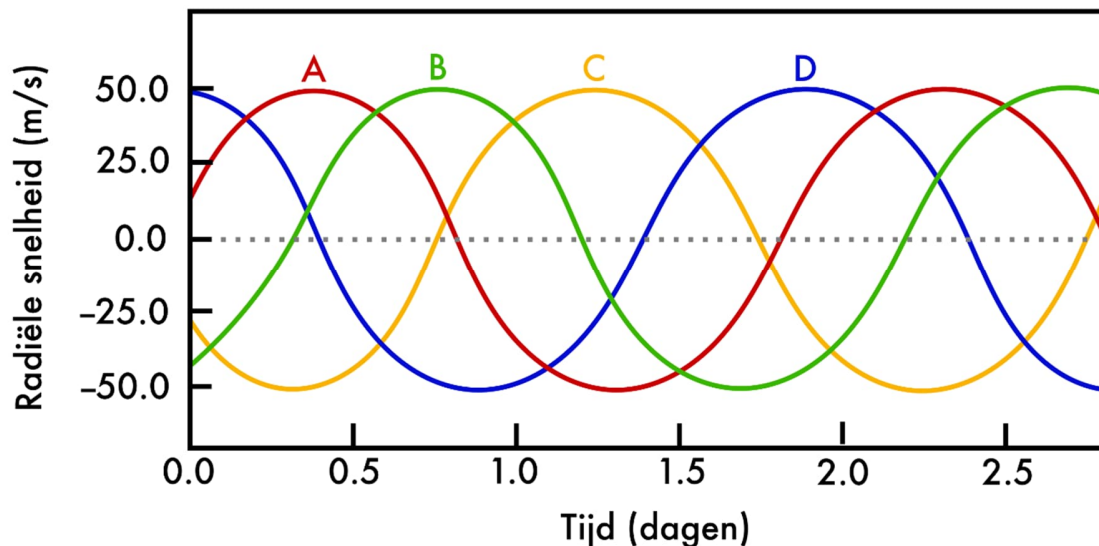
3) Anirul een pikzwarte planeet is met een albedo gelijk aan nul.



Let op! Denk goed na welke aspecten veranderen aan de lichtcurves. Duid ook aan met een pijl en enkele woorden wat er verandert en in welke mate.

Vraag 2: de radiële snelheidscurve

Hieronder staat de radiële snelheidscurve getekend van Arat die gemaakt is door naar de verschuiving van spectrale absorptielijnen in het licht van Arat te kijken.



- a) Er is echter een probleem: de tijdstempel van de data is corrupt door een bitflip in het geheugen van de telescoop. We weten wel dat één van de bovenstaande curves juist moet zijn. Welke van deze vier curves is de juiste? Beargumenteer waarom.
- b) De standaard formule voor de amplitude A_{RV} van de radiële snelheidscurve wordt gegeven door:

$$A_{RV} = \left(\frac{2\pi G}{P}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{M_P \sin(i)}{(M_* + M_P)^{\frac{2}{3}} \sqrt{1 - e^2}}$$

Benoem eerst wat de betekenis is van elke parameter.

Vorm deze vergelijking vervolgens om naar een eenvoudiger vergelijking, zodat je de massa van de planeet kunt bepalen. Neem hierbij aan dat de massa van de planeet verwaarloosbaar is ten opzichte van de massa van de ster, dat de planeet zich in een cirkelbaan bevindt en overweeg welk antwoord je hebt gegeven bij vraag 1d. De vergelijking die je zoekt is dus een (heel goede) benadering van het exacte antwoord.

- c) Bepaal de massa van de ster Arat. Gebruik hiervoor de informatie dat de parallax van Arat $\pi = 3,00 \cdot 10^{-3}$ boogseconden bedraagt en dat het een F-type hoofdreeks ster is met een gemeten flux van $F = 9,60 \cdot 10^{-13} \frac{J}{s \cdot m^2}$. Tip: reken eerst de lichtkracht uit.

Hoofdreekssterren hebben een vast verband tussen hun totale lichtkracht en massa, zie onderstaande vergelijkingen:

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx 0,23 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{2,3} \quad (M < 0,43 M_{\odot})$$

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^4 \quad (0,43 M_{\odot} < M < 2 M_{\odot})$$

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx 1,4 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{3,5} \quad (2 M_{\odot} < M < 55 M_{\odot})$$

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx 32000 \frac{M}{M_{\odot}} \quad (M > 55 M_{\odot})$$

- d) Bereken dan nu de massa van onze fictieve planeet Anirul. Geef deze in kg en geef aan hoe deze massa zich verhoudt tot die van de Aarde en die van Jupiter.
- e) Door het spectrum van Arat te fitten met een model van een zwarte straler, vinden we dat deze een temperatuur heeft van 6500 kelvin. Gebruik de wet van Stefan-Boltzmann voor een perfecte zwarte straler om de straal van Arat te berekenen. Vergelijk deze straal met de straal van de Zon.
- f) Je hebt nu genoeg informatie om ook de straal van Anirul te bepalen. Wat is de straal van Anirul? Bereken ook hoe deze straal zich verhoudt tot die van de Aarde en die van Jupiter.
- g) Bereken nu de dichtheid van de planeet. Denk je dat Anirul een rots- of een gasplaneet is?

Vraag 3: the one ring to Anirul them all

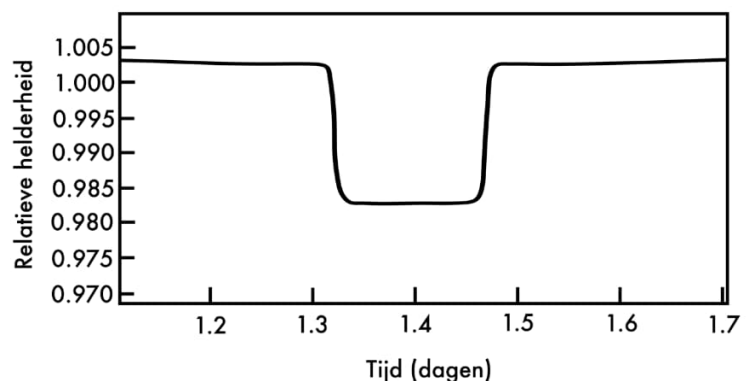
De lichtcurve die we tot nu toe hebben bestudeerd werd twaalf jaar geleden verzameld door de Kepler missie. Er is in de tussentijd echter iets bijzonders gebeurd. Er is een gasplaneet genaamd "Wensicia" heel erg dicht in de buurt van Anirul gekomen. Wensicia is met een straal van $1,2 \times 10^7$ m veel kleiner dan Anirul en was om die reden nog niet eerder gedetecteerd door Kepler.

*Tip: als het niet gelukt is om de vorige vraag op te lossen, mag je in deze vragen aannemen dat Arat een straal heeft van $9,00 \times 10^8$ m en Anirul een straal van $1,30 \times 10^8$ m. We trekken hier geen extra punten af voor doorrekenfouten van waarden uit de vorige vraag. Voor zij die de vorige vraag wel hebben gevonden: dit zijn **niet** de juiste antwoorden; de waarden dienen enkel om het nakijken te vergemakkelijken.*

- a) Op zijn dichtste punt kwam Wensicia op een afstand van $2,2 \times 10^8$ m van het middelpunt van Anirul te staan. Bepaal de Rochelimit van Wensicia. Zorgde deze ontmoeting ervoor dat Wensicia uit elkaar viel of overleefde ze? Je mag aannemen dat de massa van Wensicia $1,6 \times 10^{23}$ kg bedraagt en als benadering de Rochelimit gebruiken voor een star lichaam.

Door deze ontmoeting kreeg Anirul een ring van gas die nog mooier is dan de ringen van Saturnus en die zich uitstrekt van $r_{in} = 2,00 \cdot 10^8$ m gemeten vanaf het middelpunt van Anirul tot een afstand van $r_{out} = 5,00 \cdot 10^8$ m van de kern. Nu is de vraag: als we na de vorming van deze ringen opnieuw met Kepler naar het licht van Arat zouden kijken, zouden we de ringen dan kunnen detecteren?

- b) Maak een schets van hoe het systeem op het hoogtepunt van de primaire eclips eruit zou zien vanuit ons perspectief. Welk deel van de schijf van de ster zou op dat moment bedekt zijn vanuit ons perspectief? Arceer de delen van de ster die bedekt zijn. Neem aan dat de ring een inclinatie heeft van 45° ten opzichte van ons. Merk op dat de inclinatie niet hetzelfde is als de positiehoek van een sterrenkundig object. De positiehoek kennen we niet en mag je dus willekeurig kiezen. Zoek voor de zekerheid op wat het verschil is. Je mag ervan uitgaan dat de inclinatie van de baan van Anirul precies gelijk is aan 90° . Probeer de verhoudingen tussen de verschillende afmetingen ongeveer juist te tekenen.
- c) Wat is de diepte van de primaire transit nu deze ring toegevoegd is aan Anirul? Neem aan dat de ring van Anirul 6% van het licht dat erop valt blokkeert. De ring heeft dus een transparantie van 94%.
- d) Wat zou het effect zijn van deze ring op de vorm van de lichtcurve? Overteken op de figuur hiernaast (die gewoon een ingezoomde versie is van de oude lichtcurve) hoe je verwacht dat de nieuwe lichtcurve eruit zou zien. Duid opnieuw aan met pijlen en enkele woorden wat er verandert en in welke mate.

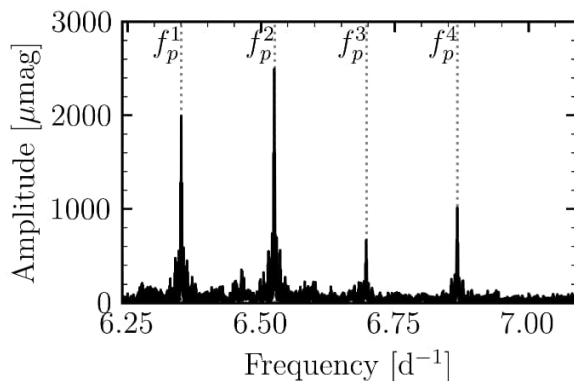


We onderzoeken tot slot nog of het mogelijk is om de ringen te detecteren met de Kepler telescoop (we negeren even dat Kepler in 2026 niet meer actief is). Kepler heeft twee observatiemodi: in Long Cadence mode neemt Kepler een opname met een integratietijd van ongeveer 29,4 minuten en in Short Cadence mode neemt Kepler opnames van 59 seconden. In principe detecteert Kepler elke seconde ongeveer 100 fotonen afkomstig van de ster Arat. Volgens de Poisson statistiek betekent dit dat als Kepler een opname zou maken met een integratietijd van 1 seconde, dat de onzekerheid (standaardafwijking) op de gemeten fluxwaarde 10% zou zijn. Zoek online op hoe onzekerheid werkt bij Poisson statistiek.

- e) Hoeveel seconden moeten we dan met de Kepler telescoop per datapunt minstens meten om de aanwezigheid van de ringen te kunnen detecteren? Hebben we Long Cadence observaties nodig of volstaan Short Cadence observaties?

Open vragenreeks III: asteroseismologie

Sommige sterren hebben sterbevingen! Deze sterbevingen zijn zoals golven die over het oppervlak van de ster bewegen. Sterbevingen vervormen het oppervlak van de sterren waardoor de hoeveelheid licht dat ze uitzenden een klein beetje verandert. De frequenties van de trillingen vertellen ons veel over de interne structuur en gedrag van de ster. De figuur hieronder toont waargenomen frequenties van een zware ster op de hoofdreeks en de tabel bevat de frequentiewaarden in omwentelingen per dag (dit wil zeggen hoeveel keer de sterbevingen rond de ster draait in een dag). Een ster kan verschillende “modi” hebben op andere frequenties. Het gedrag van deze modi geeft ons informatie over andere delen van de ster.



Naam	Frequentie [omwenteling per dag]
f_p^1	6,36
f_p^2	6,53
f_p^3	6,70
f_p^4	6,87

Vraag 1.

- “Omwentelingen per dag” is niet de enige manier om de frequentie van de sterbevingen voor te stellen. Vertaal deze frequenties naar “radialen per seconde”.
- De frequenties in de figuur zijn splitsingen van éénzelfde modus. Over welke parameter geven deze splitsingen informatie en waarom zien we deze splitsing? Geef ook een benaderende waarde van deze parameter.

Vraag 2.

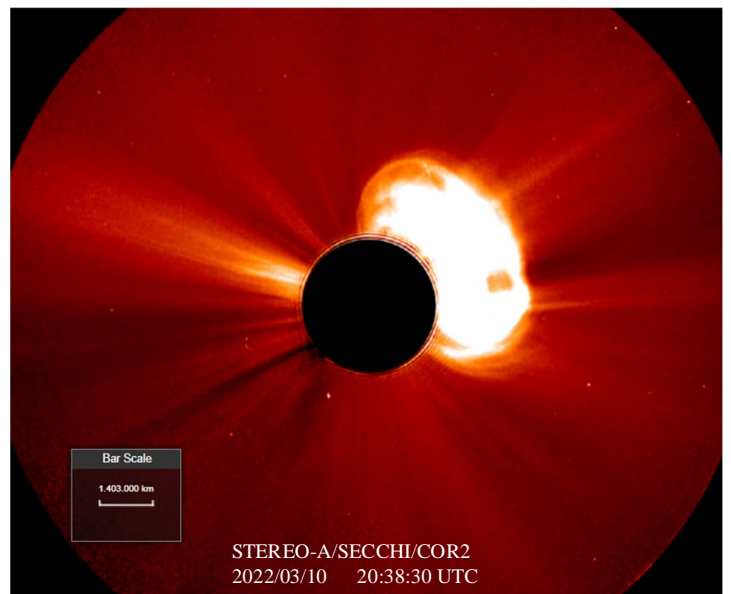
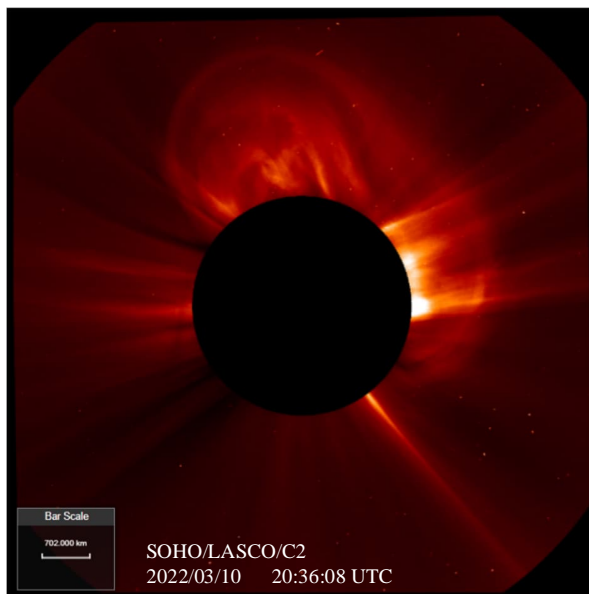
- Sterbevingen kunnen radieel of niet-radieel zijn. Radiële pulsaties zijn zo dat de ster als geheel uitzet en inkrimpt; ze zijn sferisch symmetrisch op het oppervlak. Niet-radiale pulsaties zijn niet sferisch symmetrisch en zien er anders uit over het oppervlak. Is de modus die we zien radieel of niet-radieel en hoe weet je dit?
- Een gedetailleerde modellering geeft aan dat deze ster 12 keer de massa van de Zon heeft. Welk type pulsator is deze ster dan waarschijnlijk?
- Als je weet dat de ster nu aan het einde van de hoofdreeks is met een leeftijd van 16 miljoen jaar, welke volgende stappen van de evolutie zullen er dan nog aankomen tot de laatste vorm die deze ster zal aannemen? Denk je dat dit nog langer duurt dan dat de ster al heeft geleefd?

Open vragenreeks IV: coronale massa-ejecties

Plasmawolken of coronale massa-ejecties (CME's) zijn plotselinge uitbarstingen van plasma van de Zon de ruimte in. Bijzonder sterke CME's kunnen, als ze op de Aarde gericht zijn, interageren met de magnetosfeer van de Aarde. Dit kan op zijn beurt satellieten in een baan om de Aarde beschadigen, verstoringen veroorzaken in navigatie- en communicatiesystemen, aanleiding geven tot aurora's, of in het slechtste geval grote schade aan de elektrische infrastructuur op de grond toebrengen (bijvoorbeeld het Carrington-incident in 1859 of de geomagnetische storm van maart 1989). Daarom wordt er veel moeite gedaan om deze gebeurtenissen te analyseren om onze voorspellingsmogelijkheden te vergroten. De wetenschappelijke discipline die zich richt op de effecten die de Zon op Aarde en haar directe omgeving kan veroorzaken, staat bekend als ruimteweer.

Vraag 1: Coronagraafafbeeldingen

Onderstaande beelden tonen een CME op bijna hetzelfde moment (net na 20:30 UTC op 10 maart 2022) zoals gezien door twee verschillende coronagrafen aan boord van twee verschillende ruimtevaartuigen (SOHO en STEREO-A) in zichtbaar licht. Coronagrafen zijn instrumenten die het licht dat rechtstreeks van de Zon komt blokkeren om de zonnecorona rond de Zon beter zichtbaar te maken (hetzelfde effect treedt op tijdens een zonsverduistering). Op deze manier kunnen we CME's in hun beginfase van expansie gemakkelijker zien in de zonnecorona.



- Waar bevonden de ruimtetuigen SOHO en STEREO-A zich op het ogenblik dat de opnamen werden gemaakt (op 10 maart 2022 net na 20:30 UTC)?
- Beschrijf wat je op de afbeeldingen ziet (denk aan locatie, zichtbare objecten, enzovoort). Geef een hoofdrede waarom de beelden, hoewel ze tegelijk zijn genomen, er zo verschillend uitzien.
- Is het mogelijk dat deze opgenomen CME de Aarde raakt? Waarom (niet)?
- Geef een ruwe schatting van het volume van de CME op dit moment in eenheden van zonnevolume. (Het correct schatten van de CME-eigenschappen is in werkelijkheid geen gemakkelijke opgave, dus er wordt verwacht dat je een redelijke, maar niet perfect nauwkeurige schatting geeft.)

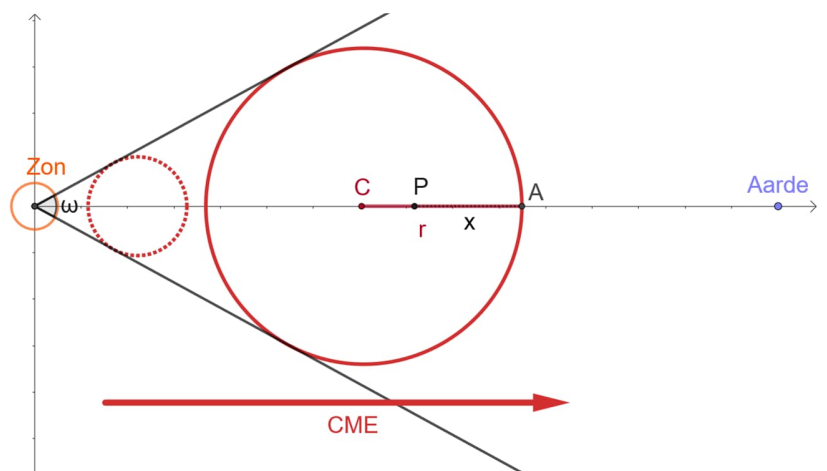
Vraag 2: snelheid schatten tijdens de CME-passage bij de Aarde: initiële expansie

Er zijn verschillende grootheden die men wil schatten voor een gegeven CME, waarvan één de snelheid is.

In de beginfase breidt de CME zich uit, weg van de Zon. Een van de gemakkelijkste manieren om een CME in deze periode te modelleren, is door die te behandelen als een plasmabal die radiaal uitzet vanaf het centrum van de Zon. Specifiek kun je je voorstellen dat een CME ontstaat als één enkel punt vanuit het middelpunt van de Zon en zich uitbreidt met een constante hoekdiameter ω zoals gezien vanaf het centrum van de Zon, waarbij elk punt binnen de CME slechts een radiale

snelheidscomponent heeft die constant is in de tijd (maar niet in alle delen van een CME hetzelfde is!).

Voor de eenvoud gaan we ervan uit dat de CME direct naar de Aarde wordt uitgestoten. Dit betekent dat we de snelheid willen vinden van de punten binnen de CME langs de verbindinglijn Zon-Aarde. Zie de figuur hiernaast (objecten niet op schaal).



- Gegeven de snelheid v_0 van het voorste punt A (dat het punt is van de CME dat het dichtst bij de Aarde ligt) en de hoekdiameter ω , bereken de snelheid v_{c0} van het middelpunt van de CME, aangeduid met C.
- Laat een punt P binnen de CME op de lijn Zon-Aarde liggen, zodat op het moment dat de CME een straal r heeft, de afstand AP gelijk is aan x (dus $x \in [0, 2r]$). Laat zien dat de snelheid bij punt P gelijk is aan

$$v_{P0} = \frac{v_0}{1 + \sin(\omega/2)} (1 + (1 - k) \sin(\omega/2)),$$

waarbij $k = x/r$. Merk op dat de waarde van k constant blijft voor het punt P tijdens de voortplanting van de CME. Wat is de waarde van k voor de punten A en C?

- c) Voor de CME van 10 maart 2022 wordt geschat dat $v_0 = 800$ km/s, $\omega = 130^\circ$ en dat de aankomsttijd van de uitbarsting (waarbij je kunt aannemen dat het leidende punt op 1 AE is) 19:00 UTC is. Hoe lang duurt na de uitbarsting bereikt de voorkant van de CME de Aarde?
- d) Hoe lang duurt het vooraleer de CME de Aarde volledig is gepasseerd?

Vraag 3: snelheid schatten tijdens de CME-passage op Aarde: interactie met de zonnewind

In werkelijkheid worden CME's omringd door zonnewind, wat een continu, gestage uitstroom van plasma van de Zon is. In de loop van de tijd reageert een CME op de zonnewind, wat bijvoorbeeld de snelheid van een CME beïnvloedt tijdens zijn reis naar de Aarde. Denk aan een ballon die je in een sterke wind laat gaan: zelfs als je de ballon tegen de wind in duwt, wordt de ballon al snel door de wind meegevoerd met dezelfde snelheid.

Een vergelijkbaar effect tijdens de voortplanting van de CME kan als volgt worden gemodelleerd. Tot $20 R_\odot$ van de Zon, is deze interactie beperkt, dus houden we ons aan het model van de vorige vraag waarbij elk punt binnen de CME met constante snelheid reist. Wanneer een punt $20 R_\odot$ bereikt, gaan we ervan uit dat het punt de effecten van de interactie tussen CME en zonnewind begint te voelen. Specifiek,

$$v_{P1}(t) = \begin{cases} v_{P0}, & \text{onder } 20 R_\odot \\ w + \frac{v_{P0} - w}{1 + \gamma(v_{P0} - w)t}, & \text{boven } 20 R_\odot \end{cases}$$

In deze uitdrukking is t de tijd gemeten vanaf het moment dat P $20 R_\odot$ bereikt, w zonnewindsnelheid en γ een constante.

Bovendien zal het achterste deel van de CME langzamer zijn dan de zonnewind die erachter komt. Gezien de grote afstand tussen de Zon en de Aarde kunnen we veilig aannemen dat de delen van de CME die langzamer zijn dan de zonnewindsnelheid tegen de tijd dat CME de Aarde bereikt, zullen worden ingehaald. Dus hebben we dat eindelijk

$$v_P(t) = \max(w, v_{P1}(t)).$$

In deze vraag kun je de specifieke waarden van de CME van 10 maart 2022 gebruiken die eerder zijn gegeven. Rond deze tijd was de snelheid van de zonnewind ongeveer $w = 340$ km/s. We nemen ook $\gamma = 0,2 \cdot 10^{-7}/\text{km}$.

- a) Voor welke waarde van k plant het punt P zich voort met de snelheid van de zonnewind? We geven deze waarde aan als k' en dit specifieke punt als P'.
- b) Uit bovenstaande vergelijkingen kunnen we afleiden dat de positie van een punt P waarvoor $k < k'$ (of equivalent $v_{P0} > w$) verder dan $20 R_\odot$ wordt gegeven door

$$d(t) = 20 R_\odot + wt + \frac{1}{\gamma} \ln(1 + \gamma(v_{P0} - w)t).$$

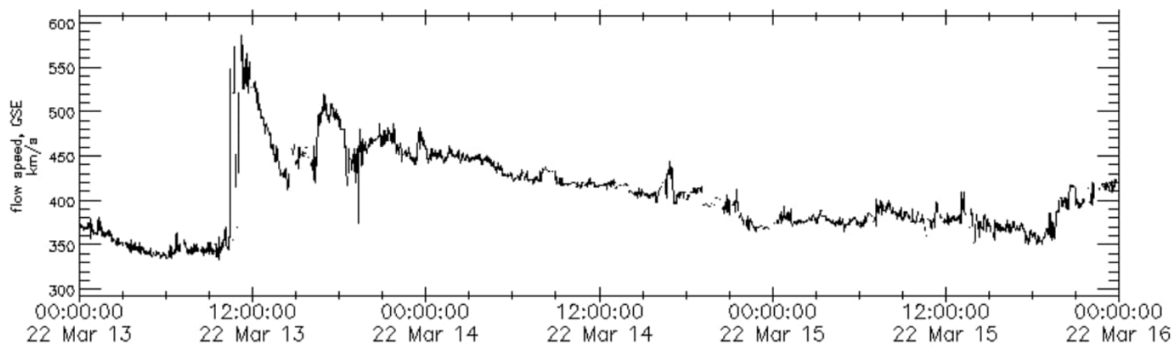
(Er wordt niet gevraagd om dit aan te tonen.)

Gebruik een plotsoftware (bijvoorbeeld [Geogebra](#) of [Desmos](#)) om d versus t te plotten voor punten A, C en P'. Gebruik dit plot om tijden (in UTC) te bepalen waarop A, C en P' de Aarde bereiken. Hoe verhoudt de aankomsttijd van de CME zich tot de eenvoudigere berekening in vraag 2c)?

- c) Schets tenslotte hoe de plasmasnelheid in de loop van de tijd zou veranderen, zoals gemeten op Aarde vóór, tijdens en na het passeren van de CME.

Vraag 4: in-situ metingen

Nu is het tijd om te zien hoe ons eenvoudige model overeenkomt met de waarnemingen. Het ruimtevaartuig Wind meet plasma-eigenschappen in situ, dat wil zeggen op de positie waar het ruimtevaartuig zich bevindt (in plaats van een afstand, zoals bij het maken van beelden met coronagrafen). Dit ruimtevaartuig bevindt zich ongeveer op de lijn Zon-Aarde, wat ons vooraf informatie geeft over het naderende plasma.



- In bovenstaande figuur zie je plasmasnelheid in km/s, gemeten door het Wind-ruimtevaartuig tijdens de CME-passage, verschoven in de tijd zodat de tijden overeenkomen met plasma dat de Aarde bereikt in plaats van de satelliet. (Daarom behandelen we dit eigenlijk als metingen op Aarde.) Wanneer kwam de CME eigenlijk aan? Hoe verhoudt dat zich tot onze eerdere schattingen? Wat zijn de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen de voorspelde en werkelijke snelheidsmetingen? Leg uit waar de verschillen vandaan kunnen komen.
- Zoals al genoemd, geeft Wind ons vooraf waarschuwingen over de naderende CME's vanwege zijn positie. Waar bevond het Wind-ruimtevaartuig zich op dat ogenblik?
- Hoe ruim van tevoren kregen we de waarschuwing over deze aankomende CME? Gebruik de hierboven getoonde snelheidsmetingen.

Dit is het einde van de eerste ronde van
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2026.
Kijk na bij je inzending of je alle gevonden oplossingen hebt ingezonden.

Heel veel succes!

