

# Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2023

30 januari 2023

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2023! Zoals uitgelegd op de website mag je deze Olympiade thuis oplossen, met al het onderzoekwerk 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 6 mei 2023. 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 **3 april 2023** (om 23.59 h). Dit kan elektronisch via e-mail naar [deelname@sterrenkundeolympiade.be](mailto: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](http://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.
- Voor de meerkeuzevragen is geen motivatie vereist. Daar volstaat het antwoord. 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 2023: Jelle Dhaene (Cozmix), Silke Maes (KU Leuven), Frank Tamsin (VVS), Bert Vander Meulen (UGent), Cassandra Van der Sijpt (KU Leuven).

<http://www.sterrenkundeolympiade.be>  
[info@sterrenkundeolympiade.be](mailto:info@sterrenkundeolympiade.be)



# Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2023

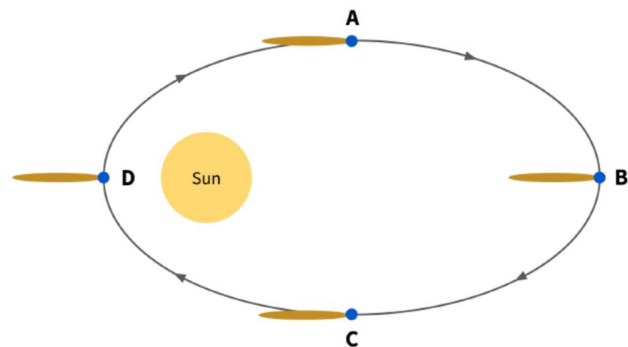
## Deelnameformulier

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. Welk van de volgende sterrenbeelden bevindt zich niet langs de Melkweg aan de hemel?
  - a) Perseus
  - b) Zwaan
  - c) Schorpioen
  - d) Leeuw
  - e) Boogschutter
  
2. Straling met een golflengte van 100 micrometer behoort tot
  - a) het röntgengebied.
  - b) het ultraviolet gebied.
  - c) het infrarood gebied.
  - d) het zichtbaar licht.
  - e) de radiogolven.
  
3. Op de maan Titan (van Saturnus) komen veel meren voor die bestaan uit vloeibaar
  - a) zuurstof en stikstof.
  - b) stikstof en ethaan.
  - c) ethaan en methaan.
  - d) methaan en stikstof.
  - e) waterstof en helium.
  
4. We doen volgende twee uitspraken:
  - (I) Vanaf de Aarde gezien staat Mars ongeveer één keer per 1,9 jaar in oppositie met de Zon.
  - (II) Vanaf de Aarde gezien staat Venus ongeveer één keer per 1,6 jaar in oppositie met de Zon.Welke van volgende beweringen is dan correct?
  - a) Alleen uitspraak (I) is juist.
  - b) Alleen uitspraak (II) is juist.
  - c) Beide uitspraken zijn juist.
  - d) Beide uitspraken zijn onjuist.
  
5. In een ver planetenstelsel draait een planeet om de hoofdster met een omlooptijd van 100 dagen in een baan met een halve lange as van 2 astronomische eenheden. In datzelfde planetenstelsel wordt nog een andere planeet waargenomen op een baan met een halve lange as van 8 astronomische eenheden. Hoe groot is de omlooptijd van die tweede planeet?
  - a) 12,5 dagen
  - b) 200 dagen
  - c) 400 dagen
  - d) 800 dagen
  - e) 1000 dagen

6. De figuur hiernaast toont schematisch een komeet in vier posities op haar baan rond de Zon. Voor welke positie wijst de staart van de komeet ongeveer in de juiste richting?



- Positie A
- Positie B
- Positie C
- Positie D
- Voor alle aangeduide posities

7. Stel je voor dat je de overgangen van de Aarde door de Zon observeert vanaf een verre exoplaneet. Ervan uitgaande dat de baan van de Aarde perfect cirkelvormig is (de excentriciteit is 0) en dat de transit zich voltrekt over de volledige diameter van de Zon (de impactparameter is 0), wat is dan de duur van de transit van de Aarde?

- 3,24 uur
- 25,93 uur
- 6,48 uur
- 1,62 uur
- 12,97 uur

8. Waarom signaleert de fusie van ijzer in de kern van een ster het begin van een supernova?

- Wanneer twee ijzeratomen botsen, zullen ze fuseren tot radioactief uranium, waardoor de kern van de ster echt een enorme fusiebom wordt.
- De fusie van ijzer maakt een enorme hoeveelheid energie vrij, waardoor de ster zichzelf opblaast.
- Ijzer is een soort katalysator, waardoor de reacties gaan versnellen, met een explosieve vrijgave van energie tot gevolg.
- Bij de fusie van ijzer is de ster zo heet dat ze zichzelf onmogelijk nog kan samenhouden.
- De fusie van ijzer neemt eigenlijk energie weg uit de kern van de ster, waardoor de ster samentrekt en dan terugstuit, met een supernova-explosie tot gevolg.

9. Beschouw de volgende fases in het leven van onze Zon:

- Heliumflits
- Witte dwerg
- Rode reuzentak
- Asymptotische reuzentak
- Einde waterstoffusie in de kern

Rangschik deze fases chronologisch (van de eerste naar de laatste).

- (V) – (IV) – (I) – (III) – (II)
- (V) – (III) – (I) – (IV) – (II)
- (I) – (V) – (III) – (IV) – (II)
- (V) – (II) – (IV) – (I) – (III)
- (III) – (V) – (I) – (IV) – (II)

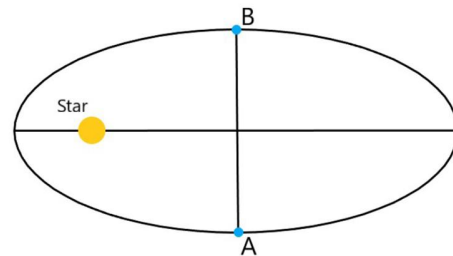
10. Welk van volgende uitspraken geldt voor supernova's van type Ia?

- a) Type Ia supernovae komen voor in binaire systemen.
- b) Type Ia supernovae komen veel voor in jonge sterrenstelsels.
- c) Type Ia supernovae produceren gamma-ray uitbarstingen.
- d) Type Ia supernovae produceren grote hoeveelheden röntgenstraling.
- e) Elk van bovenstaande uitspraken is correct.

11. Op de figuur hiernaast is schematisch de elliptische baan van een komeet rond een ster weergegeven. De komeet beschrijft haar baan in tegenwijzerzin.

Welke van de volgende uitdrukkingen komt overeen met de tijd die de komeet nodig heeft om van punt A naar punt B te gaan als functie van de periode van de komeet ( $T$ ) en de excentriciteit van de baan ( $e$ )?

- a)  $\frac{T}{2}$
- b)  $\left(\frac{e}{\pi} + \frac{1}{2}\right) T$
- c)  $\left(\frac{1}{2} - \frac{e}{\pi}\right) T$
- d)  $(1 + e) \frac{T}{2}$
- e)  $\frac{T \cdot e}{2}$



12. De resolutie  $\theta$  van een ruimtetelescoop wordt theoretisch beperkt door diffractie van de hoofdspiegel. We vergelijken de diffractielimiet van de Hubble Space Telescope (HST) (primaire spiegeldiameter 2,4 m) en de James Webb Webb Space Telescope (JWST) (primaire spiegeldiameter 6,5 m). De golflengten waarop de twee telescopen hoofdzakelijk waarnemen, zijn respectievelijk 500 nm en 10  $\mu\text{m}$ . Bereken de verhouding van de door diffractie beperkte hoekresolutie  $\frac{\theta_{HST}}{\theta_{JWST}}$ . Welke telescoop kan kleinere hoeken oplossen als hij alleen wordt beperkt

- door diffractie?
- a) 0,014 – JWST
  - b) 0,14 – HST
  - c) 1,4 – JWST
  - d) 14 – HST
  - e) 140 – JWST

13. De excentriciteit van de baan van Pluto bedraagt  $e = 0,25$ . Schat de maximale verandering in magnitude  $\Delta m$  van Pluto gezien vanaf de Aarde tijdens één omloop van Pluto rond de Zon. Daarbij mag je ervan uitgaan dat de halve lange as van de baan van Pluto veel groter is dan 1 astronomische eenheid.

- a)  $\Delta m = 0,2$
- b)  $\Delta m = 1,2$
- c)  $\Delta m = 2,2$
- d)  $\Delta m = 3,2$
- e)  $\Delta m = 4,2$

14. We nemen spectra van drie verschillende sterren P, Q en R, met respectievelijke effectieve temperaturen  $T_P$ ,  $T_Q$  en  $T_R$ . Daarbij blijkt dat de intensiteit van de violette kleur maximaal is in het spectrum van P, de intensiteit van de groene kleur maximaal in het spectrum van R en de intensiteit van de rode kleur maximaal is in het spectrum van Q. Welk van volgende ongelijkheden is dan correct:

- a)  $T_P > T_Q > T_R$
- b)  $T_P > T_R > T_Q$
- c)  $T_P < T_R < T_Q$
- d)  $T_P < T_Q < T_R$
- e)  $T_Q > T_P > T_R$

15. Een vaak herhaald leuk weetje is dat de mens meer vermogen per volume-eenheid produceert dan sterren. Als de Zon even groot zou blijven als thans het geval is, maar dezelfde hoeveelheid energie per volume-eenheid zou produceren als een mens, wat zou dan de oppervlaktetemperatuur zijn? Daarbij mag aangenomen worden de 'gemiddelde mens' een volume heeft van 66400 kubieke centimeter en een vermogen van 100 watt.

- a) 3500 K
- b) 10000 K
- c) 25000 K
- d) 40000 K
- e) 50000 K

16. Bepaal het azimut van de ster Capella (met declinatie  $\delta = +45^\circ 58'$ , in het sterrenbeeld Auriga) wanneer de ster haar bovculminatie bereikt op een plaats met geografische breedte  $\phi = +45^\circ 58'$ . We meten het azimut vanaf het noorden over het oosten.

- a)  $0^\circ$
- b)  $90^\circ$
- c)  $180^\circ$
- d)  $360^\circ$
- e) onbepaald

17. Vier sterren A, B, C en D maken deel uit van dezelfde sterrenhoop. Hun absolute magnitudes bedragen respectievelijk 10, 7,  $-1$  en  $-10$ . Welke ster lijkt dan het helderst vanop Aarde?

- a) Ster A.
- b) Ster B.
- c) Ster C.
- d) Ster D.
- e) Op basis van de gegeven informatie kan dit niet bepaald worden.

18. Welk van volgende bekende Messier objecten is te zien in het sterrenbeeld Orion?

- a) M1.
- b) M8.
- c) M13.
- d) M27.
- e) M42.

19. Welk van volgende karakteristieken hebben open sterrenhopen en bolhopen met elkaar gemeen?

- a) Ze zijn sterk gravitationeel gebonden.
- b) Het zijn relatief jonge en actieve objecten.
- c) Ze komen beide voor in spiraalstelsels.
- d) Ze brengen vaak omliggend gas aan het licht dat dan HII gebieden kan vormen.
- e) Geen van bovenstaande.

20. Welk van volgende eigenschappen is geen kenmerk van een veranderlijke ster van het Mira-type?

- a) De ster vertoont intrinsieke variabiliteit.
- b) De ster is aanwezig op de asymptotische reuzentak in het Hertzsprung-Russell-diagram.
- c) Uiteindelijk beëindigt de ster haar leven in een supernova-explosie.
- d) De amplitude van de helderheidsverandering in het infrarood bedraagt meer dan een magnitude.
- e) Bovenstaande eigenschappen zijn wel degelijk allemaal kenmerken van een Mira-veranderlijke.

21. Welke van de volgende beweringen is niet correct?

- a) Een supernova laat een neutronenster of zwart gat achter.
- b) Alleen zware sterren eindigen hun leven als supernova.
- c) Een supernova geeft net zoveel licht als een heel sterrenstelsel.
- d) Een supernova laat een planetaire nevel achter.
- e) Bij een supernova ontstaan elementen met een atoomnummer groter dan dat van ijzer.

22. We beschikken over een telescoop met een brandpuntsafstand van 1 meter en een oculair met een brandpuntsafstand van 20 mm. Welke vergroting wordt met deze telescoop bekomen?

- a)  $10 \times$
- b)  $20 \times$
- c)  $50 \times$
- d)  $100 \times$
- e)  $200 \times$

23. Welk van onderstaande stellingen komt niet overeen met de eigenschappen van een witte dwerg?

- a) Het object bestaat voornamelijk uit koolstof en zuurstof.
- b) Het object wordt in stand gehouden door ontaardingsdruk van de elektronen.
- c) Het object is het eindstadium van stervolutie van sterren onder de 12 zonsmassa's.
- d) Het object kan nooit zwaarder worden dan 1,4 zonsmassa's.
- e) Het object heeft ongeveer dezelfde straal als de Aarde.



24. Classificeer de volgende sterrenstelsels volgens de classificatie van Hubble-sterrenstelsels.



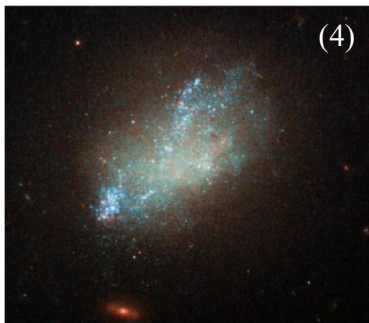
(1)



(2)



(3)



(4)



(5)

- a) (1) Sb – (2) Sc – (3) Peculair – (4) E2 – (5) Onregelmatig  
 b) (1) SBc – (2) E4 – (3) Onregelmatig – (4) Sb – (5) Peculair  
 c) (1) E3 – (2) SBc – (3) Sa – (4) Peculair – (5) Onregelmatig  
 d) (1) Sc – (2) SBa – (3) SBc – (4) E2 – (5) Peculair  
 e) (1) Sa – (2) SBb – (3) E3 – (4) Onregelmatig – (5) Peculair

25. Welk van de volgende zaken is een probleem van de klassieke oerknaltheorie dat wordt opgelost door de inflatietheorie?

- a) Volgens de klassieke oerknaltheorie is het uiterst onwaarschijnlijk dat ons heelal thans vlak of bijna vlak zou zijn, wat nochtans wel waargenomen wordt.  
 b) Volgens de klassieke oerknaltheorie is het onmogelijk dat de kosmische microgolfachtergrond in thermisch evenwicht is gekomen op het moment van recombinatie, ondanks de waargenomen uniforme temperatuur.  
 c) De klassieke oerknaltheorie voorspelt een enorme overvloed aan magnetische monopolen, terwijl er nooit magnetische monopolen zijn ontdekt.  
 d) Alle bovenstaande zaken worden door de inflatietheorie afgedekt.  
 e) Geen enkele van bovenstaande zaken wordt door de inflatietheorie afgedekt.

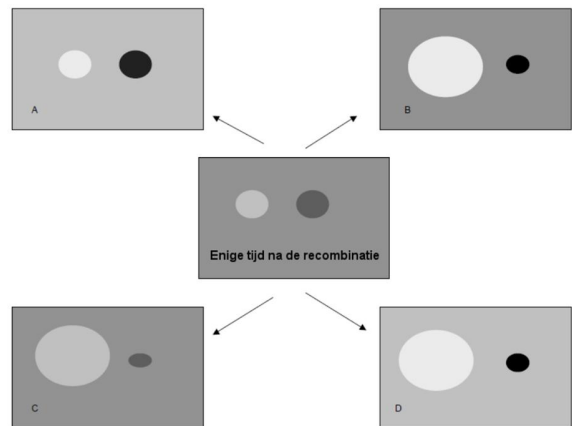
26. Op basis waarvan weten we dat quasars niet groter zijn dan het zonnestelsel?

- a) Quasars zijn te lichtkrachtig om erg groot te kunnen zijn.  
 b) Quasars blijven er puntvormig uitzien wanneer we ze door een telescoop bekijken.  
 c) Quasars bevatten zwarte gaten, die zeker klein moeten zijn.  
 d) Quasars variëren in helderheid op tijdschalen van dagen of weken.  
 e) Het klopt niet: quasars zijn meestal veel groter dan het zonnestelsel.

27. In welk gebied aan de hemel is de kosmische achtergrondstraling het helderst?

- De kosmische achtergrondstraling is overal aan de hemel even helder.
- In de omgeving van de Virgocluster.
- In de omgeving van het centrum van het heelal.
- In de omgeving van de plaats waar de Big Bang plaatsvond.
- In de richting van het centrum van ons Melkwegstelsel.

28. Het middelste beeldje op de figuur hiernaast rechts geeft schematisch een deel van ons heelal weer een tijdje na de recombinitie (en uiteraard vereenvoudigd tot een tweedimensionale weergave). De grijstint geeft de dichtheid weer: hoe donkerder, hoe groter de dichtheid (met andere woorden het lichtgrijze gebied is wat minder dicht dan de rest van het heelal in zijn omgeving, terwijl het donkergrijze gebied net een wat grotere dichtheid heeft). Welke schematische voorstelling geeft het best weer hoe het heelal er op een later tijdstip zal uitzien?



- Figuur A linksboven.
- Figuur B rechtsboven.
- Figuur C linksonder.
- Figuur D rechtsonder.
- Elk van de vier weergegeven situaties is even waarschijnlijk.

29. Welk van volgende uitspraken over de botsing van sterrenstelsels is correct?

- Botsingen tussen sterrenstelsels komen vrijwel nooit voor, omdat sterrenstelsels zich net als sterren veel te ver van elkaar bevinden, in vergelijking met hun afmetingen.
- Botsingen tussen sterrenstelsels zorgen ervoor dat grote aantallen sterren botsen en exploderen.
- Botsingen tussen sterrenstelsels doen deze sterrenstelsels ineenvallen tot superzware zwarte gaten.
- Botsingen tussen sterrenstelsels zorgen ervoor dat elliptische stelsels overgaan in spiraalstelsels.
- Botsingen tussen sterrenstelsels veroorzaken uitbarstingen van stervorming.

30. Wat is de beste benadering voor de diameter van het waarneembare heelal (uitgedrukt in parsec)?

- 13 miljard parsec
- 29 miljard parsec
- 36 miljard parsec
- 55 miljard parsec
- 93 miljard parsec



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: (exo)planeten rond hun ster

Bij de vragen hieronder kan gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

Lichtkracht van de Zon:  $L_{\text{zon}} = L_{\odot} = 4 \times 10^{26} \text{ W}$

Constante van Stefan-Boltzmann:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Astronomische eenheid:  $1 \text{ AE} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

Men weet al sinds de oudheid dat er zich in de buurt van de Zon nog andere planeten dan de Aarde bevinden. Toch heeft het tot in de jaren '90 van vorige eeuw geduurd voordat er planeten ontdekt zijn die zich in een baan rond andere sterren bevinden, zogenaamde exoplaneten. De eerste exoplaneet die men ontdekte, was een grote, Jupiter-achtige planeet dichtbij zijn ster, wat we nu een 'hete Jupiter' noemen. Zulke ontdekkingen, waar al lang over gespeculeerd werd, brachten een hele hoop vragen met zich mee en zorgden voor een nieuwe tak in de sterrenkunde. Ook vandaag nog, met gloednieuwe instrumenten zoals de James Webb Space Telescope, worden nog vele andere werelden ontdekt<sup>1</sup>.

Gebruik voor het antwoord op onderstaande vragen telkens de wetenschappelijke notatie met 4 beduidende cijfers.

Vraag 1: detecteren van exoplaneten.

Het is niet gemakkelijk om exoplaneten te detecteren in observaties omwille van verschillende redenen. Toch zijn wetenschappers vindingrijk geweest.

- a) Geef de twee hoofdredenen die het wetenschappers moeilijk maken om exoplaneten te detecteren.
- b) Geef drie succesvolle detectiemethoden. Voor elk van deze drie technieken, leg kort uit
  - (i) hoe ze werken en op welke fysica ze steunen,
  - (ii) welke soort exoplaneten het gemakkelijkst gevonden worden met deze techniek en
  - (iii) welke grootheid/grootheden (zoals massa, straal, etc.) van de planeet ermee bepaald kan/kunnen worden.

---

<sup>1</sup> Een leuke animatie over waar en hoeveel exoplaneten er de afgelopen 30 jaar ontdekt zijn, is te vinden op [https://en.wikipedia.org/wiki/Discoveries\\_of\\_exoplanets#/media/File:Exoplanets5000mark.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Discoveries_of_exoplanets#/media/File:Exoplanets5000mark.gif)

Vraag 2: leefbare zone.

Een tweede luik dat open is gegaan toen de eerste exoplaneten ontdekt werden, is de vraag of we alleen zijn in dit immens grote heelal. Door te bestuderen hoe het leven op Aarde werkt en ontstaan is, proberen wetenschappers te achterhalen of andere exoplaneten al dan niet geschikt zijn voor leven. Eén van de parameters die gebruikt wordt voor een eerste indicatie, is de zogenaamde ‘leefbare zone’.

- a) Leg in je eigen woorden uit wat de ‘leefbare zone’ van een ster is en hoe deze gedefinieerd wordt.
- b) We nemen aan dat een ster straalt als een zwarte straler, en dat een planeet op een afstand  $d$  van deze ster een flux  $f_*$  aan straling ontvangt gelijk aan

$$f_* = \frac{L_*}{4\pi d^2}$$

waarbij  $L_*$  de lichtkracht van de ster is.

Als de planeet het ontvangen licht ook weer uitstraalt als een zwarte straler, toon dan aan dat de temperatuur aan het oppervlak van de planeet door de straling van de ster gegeven wordt door

$$T_{eff,p} = \left( \frac{L_*}{16\pi\sigma d^2} \right)^{1/4}$$

Je mag daarbij ook aannemen dat het beschreven deel van de planeet perfect cirkelvormig is.

- c) Water vormt de basis van het leven hier op Aarde. Gebruik de formule van de vorige deelvraag (b) om te bepalen waar de leefbare zone rond de Zon zich situeert voor deze molecuul. Geef de locatie van de leefbare zone in de eenheid AE (astronomisch eenheid).
- d) Stel dat we ook op zoek gaan naar een andere vorm van leven, gebaseerd op ammoniak, bevindt de leefbare zone zich dan doorgaans dichterbij of verder van de ster? Op welke planeet in ons zonnestelsel zou dit soort leven mogelijk zijn, op basis van de locatie van de leefbare zone?
- e) De positie van de leefbare zone rond een ster is niet constant in de tijd. Wat gebeurt er met de leefbare zone rond een ster wanneer deze ster verder evolueert en een rode reus wordt?

## Open vragenreeks II: de wet van Hubble-Lemaître

Bij de vragen hieronder kan gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

Lichtsnelheid:  $c = 299792458 \text{ m/s}$

Parsec:  $1 \text{ pc} = 3,08567758 \times 10^{13} \text{ km}$

In 1929 slaagde Edwin Hubble erin de afstanden en de snelheden van 24 extragalactische ‘nebulae’ te schatten. Hij stelde zijn resultaten grafisch voor en vond een nagenoeg lineair verband tussen de radiële snelheid van de nebulae en de afstand ervan tot de Aarde. Dit verband is vandaag de dag gekend als de Wet van Hubble-Lemaître en deze wordt genoteerd als

$$v_r = H_0 D$$

voor een sterrenstelsel met radiële snelheid  $v_r$  en afstand  $D$ . De constante  $H_0$  noemen we de ‘Hubbleconstante’. Deze constante karakteriseert dus de expansie van het universum. Het bepalen van de exacte waarde van de Hubbleconstante blijft tot op de dag van vandaag nog steeds een lastige taak. Er zijn immers meerdere manieren om  $H_0$  te bepalen. Eén van deze methodes is simpelweg de werkwijze die Edwin Hubble zelf toepaste: bepaal de afstanden en de snelheden van voldoende verafgelegen astronomische objecten en bereken met die data de beste waarde voor  $H_0$ . Deze methode baseert zich op de eigenschappen van astronomische objecten in de huidige staat van ons universum en men bestempelt deze metingen ook wel als metingen uit het ‘late universum’. De laatste jaren is er ook een andere methode op de voorgrond getreden. De lancering van de Planck satelliet heeft fysici in staat gesteld de kosmische achtergrondstraling erg nauwkeurig te meten. Deze kosmische achtergrondstraling is een overblijfsel van de oerknal en observaties tonen kleine fluctuaties in de temperatuur van de straling. Deze fluctuaties bevatten veel informatie over de eigenschappen van het universum, waaronder ook de Hubbleconstante. Bij deze methode wordt de Hubbleconstante dus bepaald door middel van metingen uit het ‘vroeg universum’.

In 2021 kwamen er nieuwe rapporten uit in verband met de ‘Hubblespanning’. De naam ‘Hubblespanning’ verwijst naar het verschil tussen de gevonden waarde voor de Hubbleconstante door metingen uit het late universum en de gevonden waarde door metingen uit het vroeg universum. Volgens het ‘late universum’-kamp heeft de Hubbleconstante een waarde

$$H_0 = 73 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$

terwijl het ‘vroeg universum’-kamp een waarde

$$H_0 = 67,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$

bekomt.

Vorig jaar werd de statistische significantie door middel van nauwkeurigere metingen verder vergroot. Dit was erg spannend nieuws aangezien dit lijkt te betekenen dat er iets fundamenteel incorrect is aan (minstens) één van de methoden voor de bepaling van de Hubbleconstante. Dit wijst op nieuwe fysica die ontdekt moet worden!

**Vraag 1.**

In deze vraag treden we in de voetsporen van Edwin Hubble en maken we een schatting voor de Hubbleconstante.

De radiële snelheid van een sterrenstelsel wordt bepaald aan de hand van zijn dopplerverschuiving  $z$ . De dopplerverschuiving van een spectrale lijn met rustgolflengte  $\lambda_0$  en geobserveerde golflengte  $\lambda_{obs}$  wordt gegeven door

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Deze dopplerverschuiving kan ook geschreven worden als functie van de radiële snelheid  $v_r$  van de straler:

$$z = \sqrt{\frac{1 + \frac{v_r}{c}}{1 - \frac{v_r}{c}}} - 1$$

- a) Toon aan dat voor kleine, niet-relativistische snelheden de dopplerverschuiving kan uitgedrukt worden als

$$z \approx \frac{v_r}{c}$$

- b) De lijnen in het spectrum van een sterrenstelsel kunnen ofwel een ‘roodverschuiving’ ofwel een ‘blauwverschuiving’ ondergaan. Wat besluit je over de beweging van het sterrenstelsel voor elk fenomeen?

Welk fenomeen observeren we bij de meeste sterrenstelsels in het universum en waarom?

- c) Zoals bij de vorige deelvraag (b) reeds aangegeven, vertonen quasi alle sterrenstelsels eenzelfde soort dopplerverschuiving door de expansie van het heelal. Toch zijn er enkele sterrenstelsels die afwijken van de norm. Geef een voorbeeld van zo een sterrenstelsel. Hoe kan dit verklaard worden?

**Vraag 2.**

Cygnus A is een radio-sterrenstelsel met een dopplerverschuiving van  $z = 0,056075$  en het stelsel bevindt zich op een afstand van 232 Mpc.

- a) Wat is de geobserveerde golflengte van de  $H\alpha$ -lijn in het spectrum van Cygnus A? Druk je antwoord uit in nanometer.
- b) Gebruik de gegevens van Cygnus A om de waarde van de Hubbleconstante  $H_0$  te schatten. Druk je antwoord uit in  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ .
- c) Vertrekkende van de wet van Hubble-Lemaître, vind een wiskundige uitdrukking voor de evolutie van de afstand  $D$  van een sterrenstelsel als functie van de tijd  $t$  na de oerknal, de huidige afstand  $D_0$  en de huidige leeftijd  $t_0$  van het universum. Je mag daarbij aannemen dat de Hubbleconstante doorheen de tijd niet veranderd is.
- d) Schat de huidige leeftijd van het universum. Druk je antwoord uit in jaren. Gebruik het antwoord dat je hebt gevonden in deelvraag (2b). Hierbij mag je aannemen dat de snelheden van de sterrenstelsels doorheen de tijd niet zijn veranderd.

Open vragenreeks III: verduistering door stof

Sterrenstelsels bevatten grote hoeveelheden gas en stof, die als brandstof dienen om nieuwe sterren te vormen. Tegelijk heeft dit stof een verduisterend effect op het sterlicht, wat ervoor zorgt dat we als waarnemer geen vrije inkijk krijgen in het sterrenstelsel. De extinctie van sterlicht wordt beschreven aan de hand van het concept 'optische diepte'  $\tau$ , wat centraal staat in deze opgave.



Zijaanzicht van een spiraalsterrenstelsel met een duidelijke stoflaan die het sterlicht verduistert.

Vraag 1.

Beschouw één ster die licht uitzendt in een bepaalde richting met een intensiteit  $I_0$ . De intensiteit  $I(x)$  van dit sterlicht zal dan afnemen wanneer het licht doorheen een stofwolk gezonden wordt, met  $x$  de afstand afgelegd in de stofwolk. Gegeven is de extinctie  $dI(x)$  door een verwaarloosbaar dun stofscherf  $dx$ :

$$dI(x) = -kI(x)dx$$

waarbij  $k$  de extinctiecoëfficiënt van het stof voorstelt (dit is een constante).

De extinctiecoëfficiënt  $k$  van een bepaalde soort stof kan berekend worden als

$$k = \rho\kappa$$

met  $\rho$  de massadichtheid van de stof (we veronderstellen dat dit eveneens een constante is):

$$\kappa_C = 20000 \text{ cm}^2/\text{g}$$

voor stof dat bestaat uit koolstofverbindingen en

$$\kappa_{Si} = 40000 \text{ cm}^2/\text{g}$$

voor stof bestaande uit silicaten.

a) Toon door middel van een integratie aan dat

$$I(x) = I_0 e^{-\tau(x)}$$

en bewijs zo dat de optische diepte gelijk is aan

$$\tau(x) = kx = \rho\kappa x$$

b) Wat is de optische diepte  $\tau$  van een koolstofwolk met een diepte van 1 kpc en een massadichtheid  $\rho = 2,8 \times 10^{-23} \text{ kg/m}^3$ ?

c) Noem  $I_{obs} = I(D)$  de waargenomen intensiteit van het sterlicht, met  $D$  de diepte van de stofwolk tussen de ster en de waarnemer. Met hoeveel procent wijzigt  $I_{obs}$  wanneer dezelfde wolk (zelfde  $\rho$  en  $D$  als in deelvraag b) zou bestaan uit silicaten in plaats van koolstof?



- d) Voor een wolk (zelfde  $\rho$  en  $D$ ) bestaande uit koolstofverbindingen én silicaten, voor welke massaverhouding tussen de koolstofverbindingen en silicaten is de optische diepte juist gelijk aan 2?  
Geef de massadichtheid voor elk van deze stofcomponenten in eenheden  $kg/m^3$ .
- e) Met welke factor neemt de waargenomen lichtintensiteit in de vorige deelvraag (d) toe, wanneer dezelfde stofwolk maar half zo diep ( $D = 0,5 \text{ kpc}$ ) is?
- f) Voor welke waarde  $\tau$  voor de optische diepte wordt een stofwolk ondoordringbaar, en wordt er geen sterlicht waargenomen?

Vraag 2.

Leg in maximum vijf zinnen uit waarom stof bestudeerd wordt aan de hand van infrarood observaties, en waarom dit vanuit de ruimte gebeurt.

### Open vragenreeks IV: tweelichamenprobleem

Bij de vragen hieronder kan gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

$$\mu_{\odot} \cong GM_{\odot} = 1,327 \times 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

$$\text{Afstand van Mars tot de Zon: } r_{\text{mars}} = 1,5237 \text{ AE}$$

$$\text{Afstand van de Aarde tot de Zon: } r_{\oplus} = 1 \text{ AE} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$\text{Rotatiesnelheid van de Aarde rondom de Zon: } v_{\oplus} = 29,79 \text{ km/s}$$

Vraag 1.

Kepler publiceerde in het begin van de 17de eeuw zijn drie bekende wetten. Deze wetten geven een beschrijving van de beweging van een hemellichaam om een ander hemellichaam. Dit vraagstuk is ook gekend als het tweelichamenprobleem. Een volledige beschrijving voor dit tweelichamenprobleem kwam er echter pas toen Newton zijn zwaartekrachttheorie ontwikkelde. Met behulp van deze zwaartekrachttheorie kan bewezen worden dat twee objecten die enkel onderworpen zijn aan elkaars gravitatie, zich altijd op een baan zullen bevinden die de vorm heeft van een kegelsnede. De meest algemene vergelijking voor een kegelsnede is de volgende:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(T)}$$

Hierin stellen  $r$  en  $T$  de poolcoördinaten voor van een punt op de kegelsnede, waarbij  $r$  de afstand tot één van de brandpunten weergeeft en  $T$  de hoek met de lange as vormt zoals weergegeven in de figuur bovenaan de volgende bladzijde. Deze hoek  $T$  wordt ook wel de ware anomalie van een punt op de kegelsnede genoemd. Verder wordt  $a$  gedefinieerd als de lengte van halve lange as van de kegelsnede en wordt  $e$  de excentriciteit van de kegelsnede genoemd.

a) Welke soorten kegelsneden zijn er? En wat is hun verband met de excentriciteit  $e$ ?

Soms is het echter eenvoudiger om de beschrijving van de ellips niet ten opzichte van één van de brandpunten te doen, maar ten opzichte van het centrum van de kegelsnede, wat bij een ellips in het midden van de ellips ligt. De afstand tussen dit centrum en het brandpunt is gelijk aan  $ea$ . In een beschrijving ten opzichte van dit coördinatensysteem wordt de vergelijking van een kegelsnede in functie van de excentrische anomalie  $E$  (hoek tussen lange as en positievector vanuit het centrum) gegeven door:

$$\text{ellips:} \quad r = a(1 - e \cos(E))$$

$$\text{hyperbool:} \quad r = a(e \cosh(E) - 1)$$

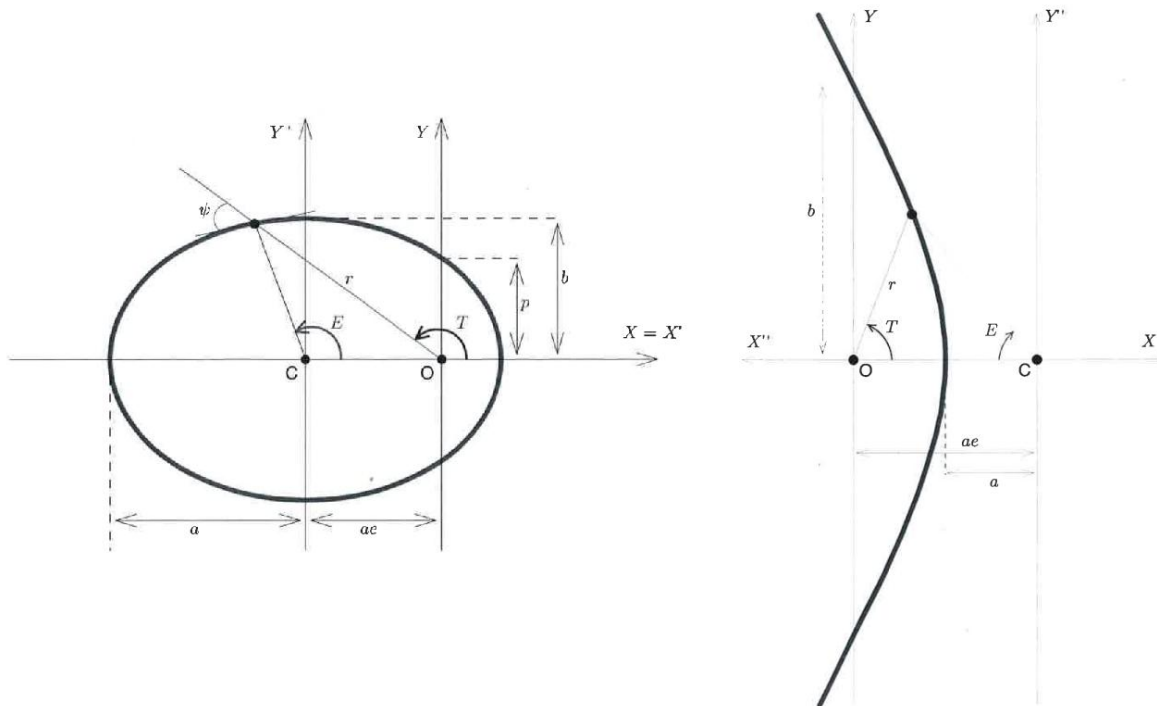
Het tweelichamenprobleem oplossen, geeft aanleiding tot een behouden grootte, de energie van het totale systeem. Deze kan geschreven worden als de energie per massa-eenheid als:

$$\varepsilon = \frac{E_t}{m} = \text{sign}(e^2 - 1) \frac{\mu}{2a}$$

Hierbij staat  $\text{sign}(e^2 - 1)$  voor het teken van de waarde  $e^2 - 1$  (positief of negatief) en

$$\mu = G(m_1 + m_2)$$

waarbij  $G$  de universele gravitatieconstante is en  $m_1$  en  $m_2$  de massa's voorstellen van de twee objecten beschreven door het tweelichamenprobleem.



Een ellips en een hyperbool kunnen zowel beschreven worden in functie van de ware anomalie ( $T$ ) als in functie van de excentrische anomalie ( $E$ ).

- b) Welk besluit kun je trekken over de totale energie van het systeem van twee lichamen in functie van de excentriciteit van hun banen? Hoe staat de totale energie van het systeem in relatie tot de fysieke banen van de twee lichamen?

Een andere behouden grootte is het draaimoment  $\vec{h}$  van een planeet<sup>2</sup>. Dit wordt gegeven door het vectorieel product van de positievector van de planeet en de snelheidsvector van de planeet:

$$\vec{h} = \vec{r} \times \vec{v}.$$

De grootte van dit draaimoment kan ook geschreven worden als

$$h = rv \sin(\theta)$$

waarin  $\theta$  de hoek tussen beide vectoren  $\vec{r}$  en  $\vec{v}$  voorstelt. Uit de oplossing van het tweelichamenprobleem kan verder ook de volgende vergelijking afgeleid worden:

$$r = \frac{h^2}{\mu} \frac{1}{1 + e \cos(T)}$$

c) Toon aan dat het draaimoment geschreven kan worden als

$$h = \sqrt{\mu a |1 - e^2|}$$

waarbij  $a$  de lengte van de halve lange as van een kegelsnede voorstelt.

Vraag 2.

Ten slotte levert de oplossing van het tweelichamenprobleem ook een relatie tussen de positie van het object en het tijdstip waarop het zich op die positie bevindt. Voor een ellips en hyperbool gelden volgende relaties:

$$\text{ellips:} \quad E - e \sin(E) = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} (t - \tau)$$

$$\text{hyperbool:} \quad e \sinh(E) - E = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} (t - \tau)$$

Hierin stelt  $\tau$  het tijdstip voor van het moment waarop het lichaam zich in het pericentrum (punt dichtst bij het brandpunt,  $E = 0$ ) bevindt.

Beschouw nu een satelliet op een baan van de Aarde naar Mars. De satelliet wordt gelanceerd vanop de Aarde met een snelheid van 33 km/s. De hoek van de lancering met de raaklijn langsheen de baan van de Aarde bedraagt  $\theta = 15^\circ$ . (Tip: na lancering zal enkel het gravitatieveld van de Zon van belang zijn.)

- Wat is de snelheid van de satelliet ten opzichte van de Zon? Druk je antwoord uit in  $km/s$ .
- Zal de satelliet op een elliptische of hyperbolische baan bewegen? (Tip: de totale energie van de satelliet kan geschreven worden als de som van zijn kinetische en potentiële energie.)
- Wat is de lengte van de halve grote as van de baan van de satelliet? Druk je antwoord uit in  $AE$  (astronomische eenheden).
- Wat is de excentriciteit van de baan van de satelliet? (Tip: maak hiervoor gebruik van het draaimoment van de satelliet tegenover de Zon en van de hoek die de satelliet tijdens de lancering maakt met de baan van de Aarde.)
- Hoe lang is de satelliet onderweg naar de baan van Mars? Druk je antwoord uit in dagen, minuten, uren en seconden.

<sup>2</sup> Of eender welk lichaam dat zich op een baan rondom de Zon bevindt.



Dit is het einde van de eerste ronde van  
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2023.  
Kijk na bij je inzending of je alle gevonden oplossingen hebt ingezonden.

Heel veel succes!



Vereniging Voor  
Sterrenkunde

