

# Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2022

30 januari 2022

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2022! 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 7 mei 2022. 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.

Het is de bedoeling dat je de onderstaande vragen oplost en je antwoorden aan ons bezorgt, uiterlijk op **4 april 2022**. 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.
- 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 2022: Robin Baeyens (KU Leuven), Jelle Dhaene (Cozmix), Silke Maes (KU Leuven), Frank Tamsin (VVS), Bert Vander Meulen (UGent).

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



# Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2022

## 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. We vergelijken de afstand tot de horizon voor een waarnemer op de top van de Mount Everest (op 8,8 km) op Aarde, met die voor een waarnemer op de top van Olympus Mons (op 25 km hoogte) op Mars. Welk van volgende waarden benadert de verhouding tussen beide afstanden het best?

- a) 0,1
- b) 1
- c) 5
- d) 10
- e) Er is onvoldoende informatie om dit te kunnen berekenen.

2. Op de afbeelding hiernaast van een gedeelte van de sterrenhemel zijn drie Messier-objecten omcirkeld.

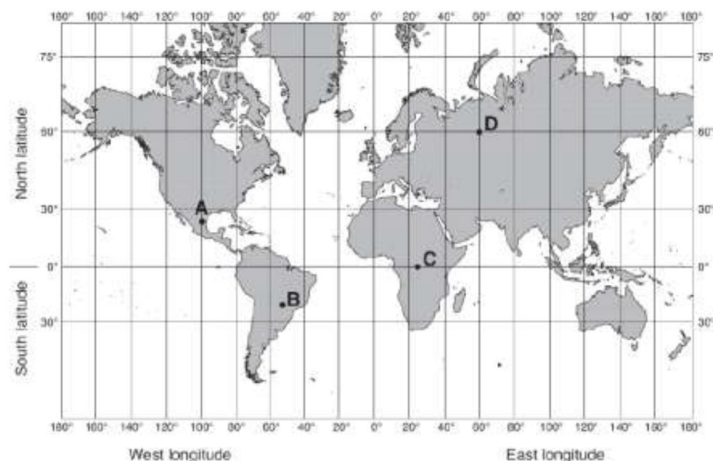


Kies het alternatief dat correct overeenkomt met elk object met zijn type:

- |    |                      |                      |                            |
|----|----------------------|----------------------|----------------------------|
| a) | (1) Open sterrenhoop | (2) Open sterrenhoop | (3) Nevel                  |
| b) | (1) Open sterrenhoop | (2) Nevel            | (3) Sterrenstelsel         |
| c) | (1) Sterrenstelsel   | (2) Nevel            | (3) Bolvormige sterrenhoop |
| d) | (1) Open sterrenhoop | (2) Sterrenstelsel   | (3) Bolvormige sterrenhoop |
| e) | (1) Open sterrenhoop | (2) Nevel            | (3) Open sterrenhoop       |

3. Welke plaats (weergegeven op de kaart) kent op 21 maart 12 uur daglicht en 12 uur nacht?

- a) A.
- b) B.
- c) C.
- d) Zowel A, B als C.
- e) Noch A, noch B, noch C.



4. We onderscheiden drie vormen van schemering:

- De burgerlijke schemering als het middelpunt van de Zon minder dan  $x^\circ$  onder de horizon staat; we kunnen dan reeds de helderste sterren zien en het wordt moeilijk om te lezen zonder kunstlicht.
- De nautische schemering als het middelpunt van de Zon  $x^\circ$  tot  $y^\circ$  onder de horizon staat; het wordt te donker om de zeehorizon nog te zien zodat hoogtemetingen voor de scheepvaart niet meer mogelijk zijn met de horizon als referentie.
- De astronomische schemering als het middelpunt van de Zon  $y^\circ$  tot  $z^\circ$  onder de horizon staat; er is nog wat verstrooiing van zonlicht waardoor het nog niet perfect donker is voor astronomische waarnemingen.

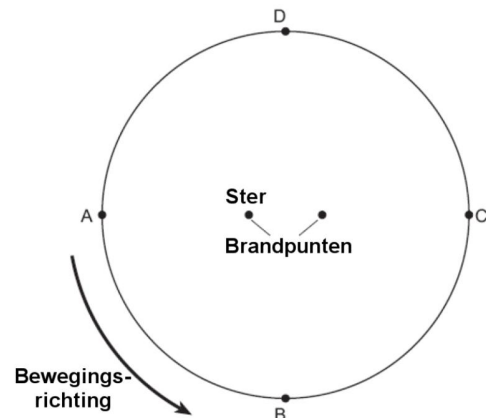
Wat zijn de waarden voor  $x$ ,  $y$  en  $z$  in bovenstaande beschrijving?

- a)  $x = 5$        $y = 10$        $z = 15$ .  
 b)  $x = 6$        $y = 12$        $z = 18$ .  
 c)  $x = 3$        $y = 6$        $z = 9$ .  
 d)  $x = 12$        $y = 6$        $z = 18$ .  
 e)  $x = 10$        $y = 20$        $z = 30$ .

5. De figuur rechts geeft schematisch de beweging weer van een planeet op een elliptische baan rond een ster.

Wat is ongeveer de excentriciteit van deze elliptische baan (afgerond tot 1 cijfer na de komma)?

- a) 0,0  
 b) 0,1  
 c) 0,2  
 d) 0,3  
 e) 0,4



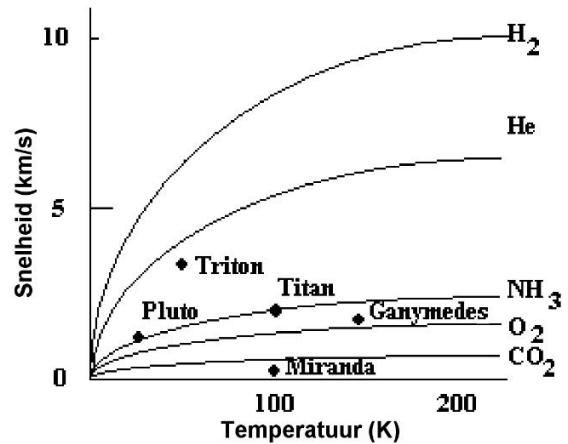
6. Komeet C/2020 F3 (NEOWISE) bereikte voor het laatst haar perihelium op 3 juli 2020. Deze komeet heeft een omlooptijd van 4400 jaar en de baanexcentriciteit bedraagt 0,99921. Hoe groot is de periheliumafstand van komeet C/2020 F3 (NEOWISE), uitgedrukt in AE (astronomische eenheden)?

- a) 0,0123 AE  
 b) 0,212 AE  
 c) 0,424 AE  
 d) 2,69 AE  
 e) 26,8 AE

7. Welk van volgende objecten is géén dwergplaneet?

- a) Ceres  
 b) Eris  
 c) Makemake  
 d) Pluto  
 e) Juno

8. De figuur rechts zet voor verschillende objecten in het zonnestelsel hun ontsnappingsnelheid in km/s (op de verticale as) uit tegenover hun oppervlaktetemperatuur in K (op de horizontale as). Op dezelfde figuur geven de getekende lijnen de gemiddelde snelheid van gasdeeltjes weer in functie van de temperatuur, en dit voor verschillende gassen. Welke van de gassen die in dit diagram zijn getekend, zouden door Miranda kunnen worden vastgehouden?



- alleen CO<sub>2</sub>;
- alleen NH<sub>3</sub>;
- zowel CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> als O<sub>2</sub>;
- alle gassen die op de figuur zijn weergegeven;
- geen enkele van de weergegeven gassen.

9. Wat is het theoretisch oplossend vermogen (beperkt door diffractie) van een typische 20 cm amateurtelescoop bij visueel licht (van golflengte 550 nm)?

- 0,35 boogseconden
- 0,69 boogseconden
- 0,017 boogseconden
- 1,7 boogseconden
- 6,9 boogseconden

10. Hoeveel magnitudes verschilt de grensmagnitude van een 200 mm telescoop met die van het menselijk oog; neem daarbij aan dat de diameter van de iris 5 mm bedraagt. (Een verschil van 5 magnitudes komt overeen met een factor 100 in helderheid.)

- 6,0.
- 7,0.
- 8,0.
- 9,0.
- 10,0.

11. Wat is géén significant voordeel van het observeren met een ruimtetelescoop?

- De afstand tussen waargenomen objecten en de telescoop is kleiner.
- Straling bereikt de telescoop zonder dat die door de atmosfeer van de Aarde wordt geabsorbeerd.
- De telescoop wordt niet beïnvloed door lokale bronnen van straling.
- De straling wordt niet verbogen door turbulentie in de atmosfeer.
- Alle bovenstaande zaken zijn wel degelijk significant.

12. In vergelijking met röntgenstraling hebben radiogolven

- a) een hogere frequentie en een hogere energie.
- b) een lagere frequentie en een lagere energie.
- c) een hogere frequentie en een lagere energie.
- d) een lagere frequentie en een hogere energie.
- e) Dit is misleidend aangezien alle gebieden in het elektromagnetisch spectrum dezelfde energie en frequentie hebben, en alleen verschillen in golflengte.

13. Wat is het spectraaltype van een ster met een lichtkracht van  $5,86 \cdot 10^{26}$  W en een straal van  $8,51 \cdot 10^8$  m?

- a) A
- b) F
- c) G
- d) K
- e) M

14. Wat is de piekgolflengte van de elektromagnetische straling die wordt uitgezonden door een ster met een effectieve temperatuur van 10000 K. De ster mag daarbij als een zwarte straler beschouwd worden.

- a) 29 nm
- b) 290 nm
- c) 580 nm
- d) 2900 nm
- e) 5800 nm

15. Een normale neutronenster kan een massa hebben van 1,4 zonsmassa's en een straal van 12 km. Als we de Maan zouden comprimeren tot dezelfde gemiddelde dichtheid als deze neutronenster, wat zou haar resulterende straal dan zijn?

- a) 3570 cm
- b) 0,352 km
- c) 2,033 mm
- d) 3012 km
- e) 3 cm

16. Wat is de dominante fusie-reactie in hoofdreekssterren met grote massa?

- a) De proton-proton keten.
- b) De CNO cyclus.
- c) De helium-helium keten.
- d) De proton-proton III keten.
- e) Geen van bovenstaande.

17. Wat is bij benadering de oppervlaktetemperatuur van O-sterren?

- a) 3 K.
- b) 30 K.
- c) 300 K.
- d) 3000 K.
- e) 30000 K.

18. Wat weerhoudt een witte dwerg ervan om in te storten tot een zwart gat?

- a) De zeer sterke ontaardingsdruk van elektronen.
- b) De splitsing van complexe elementen geeft warmte vrij.
- c) De fusie van complexe elementen genereert warmte.
- d) De zeer sterke ontaardingsdruk van neutronen.
- e) Niets, want uiteindelijk zal een witte dwerg toch instorten tot een zwart gat.

19. De kleur van een ster staat het meest rechtstreeks in verband met

- a) de massa.
- b) de oppervlaktetemperatuur.
- c) de centrale temperatuur (dus in de kern van de ster).
- d) de lichtkracht.
- e) de straal.

20. Een astronoom neemt een zonachtige ster waar met een schijnbare visuele magnitude van 6,73. Ervan uitgaande dat de gemiddelde interstellaire extinctie (op de waargenomen golflengte) 1,00 magnitude per kiloparsec bedraagt, hoe groot is dan de afstand van de waargenomen ster, uitgedrukt in parsec (pc).

- a) 11,5 pc
- b) 49,5 pc
- c) 34,2 pc
- d) 23,7 pc
- e) 18,9 pc

21. Een astronoom bestudeert het spectrum van een ver verwijderde bron. Ze neemt hierbij enkel zeer heldere lijnen waar. Wat is wellicht de oorzaak van dit fenomeen?

- a) Een gaswolk van lage dichtheid wordt aan het licht gebracht door een ster in de nabijheid van de gaswolk, maar die zich niet langs de gezichtslijn van de waarneemster bevindt.
- b) Een interstellaire wolk die enkel volledig geïoniseerd waterstof bevat.
- c) Een gaswolk van lage dichtheid wordt aan het licht gebracht door een ster in de nabijheid van de gaswolk, en waarbij zowel de gaswolk als de ster zich langs de gezichtslijn van de waarneemster bevinden.
- d) Zij kijkt naar de Maan.
- e) Een interstellaire wolk die volledig uit elektronen bestaat.



22. De exoplaneet HD 209458b heeft een massa van 0,71 Jupitermassa's en draait om HD 209458 met een omlooptijd van 3,53 dagen. HD 209458 heeft een massa van 1,15 zonsmassa's. Ervan uitgaande dat de baan van HD 209458b cirkelvormig is (wat hier een goede benadering is) en dat zijn baan perfect in onze gezichtslinje ligt, wat is dan de radiale snelheid (in m/s) van HD 209458 als gevolg van de baanbeweging van HD 209458b?

- a) 42,7 m/s
- b) 69,6 m/s
- c) 85,9 m/s
- d) 94,2 m/s
- e) 120,8 m/s

23. Welke van volgende stellingen is correct?

- a) Er bestaan geen groene sterren.
- b) Het noorderlicht wordt veroorzaakt door de botsing tussen het magnetisch veld van de Zon en dat van de Aarde.
- c) Sterren met een massa kleiner dan 10 zonsmassa's kunnen geen elementen zwaarder dan ijzer synthetiseren.
- d) Theoretisch gezien kunnen sterren oneindig groot worden.
- e) Hoe verder men kijkt, hoe verder men terugkijkt in de tijd. Men kan dus, met een telescoop die sterk genoeg is, terugkijken tot aan de big bang.

24. In het jaar 1006 werd door astronomen over de hele wereld een nieuwe ster waargenomen die een visuele magnitude van  $-7,5$  had, ongeveer 16 keer lichtkrachtiger dan Venus. Nu weten we dat dit waarschijnlijk een type Ia supernova was met een absolute magnitude van  $-19,3$ . De diameter van het supernovarestant heeft een hoekgrootte van 30 boogminuten. Hoe groot is dan de expansiesnelheid van het gas dat door de exploderende ster is uitgestoten?

- a)  $1,9 \times 10^4 \text{ km s}^{-1}$
- b)  $1,2 \times 10^2 \text{ km s}^{-1}$
- c)  $9,6 \times 10^3 \text{ km s}^{-1}$
- d)  $4,8 \times 10^3 \text{ km s}^{-1}$
- e)  $4,5 \times 10^1 \text{ km s}^{-1}$

25. Zet de volgende omgevingen in volgorde van toenemende dichtheid:

- (1) een moleculaire wolk
  - (2) de interstellaire ruimte
  - (3) de interplanetaire ruimte
  - (4) de intergalactische ruimte
  - (5) de corona van de Zon
  - (6) het sterkste vacuüm bereikt in laboratoria op Aarde
- a) 4 – 2 – 3 – 1 – 6 – 5
  - b) 6 – 4 – 2 – 3 – 5 – 1
  - c) 3 – 2 – 6 – 4 – 5 – 1
  - d) 4 – 6 – 2 – 3 – 1 – 5
  - e) 2 – 3 – 6 – 5 – 4 – 1

26. De karakteristieke baanperiode van een contactdubbelster bestaande uit twee zonachtige sterren bedraagt ongeveer

- a) 2 uur
- b) 3 uur
- c) 5 uur
- d) 7 uur
- e) 1 jaar

27. Het centrum van ons Melkwegstelsel is aan de hemel te zien in het sterrenbeeld

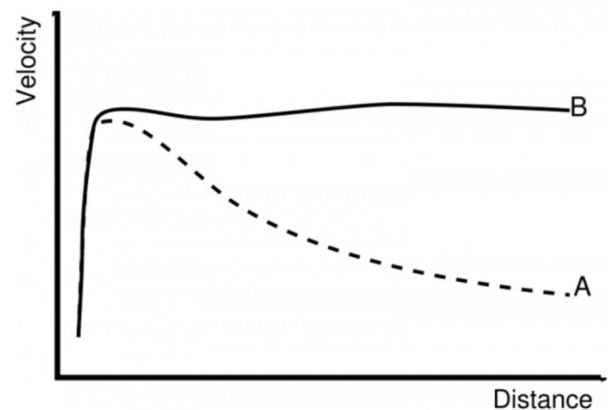
- a) Tweelingen
- b) Boogschutter
- c) Schorpioen
- d) Kreeft
- e) Maagd

28. Welke van de onderstaande combinaties van grootheden beschrijft een zwart gat en al zijn eigenschappen?

- a) massa, rotatie en magnetisch veld
- b) massa, straal en rotatie
- c) massa, elektrische lading en rotatie
- d) massa, straal en elektrische lading
- e) elektrische lading en rotatie

29. De afbeelding toont de verwachte (A) en de waargenomen (B) rotatiecurven van een spiraalstelsel. Wat is de meest gangbare verklaring om dit verschil te verklaren?

- a) Baryonen.
- b) Neutrino's.
- c) Gammastraling.
- d) Donkere materie.
- e) Bolvormige sterrenhopen.



30. Welke zijn de twee eigenschappen van een sterrenstelsel waartussen de Tully-Fisher relatie een verband beschrijft?

- a) Lichtkracht en snelheidsdispersie.
- b) Lichtkracht en rotatiesnelheid.
- c) Straal en metalliciteit.
- d) Lichtkracht en metalliciteit.
- e) Massa en oppervlaktehelderheid.



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: massabepaling in het heelal

Bij de vragen hieronder kan gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

Massa van de Zon:  $M_{\text{zon}} = M_{\odot} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$

Universele gravitatieconstante:  $G = 6,67408 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$

Lichtjaar:  $1 \text{ lj} = 9,641 \times 10^{12} \text{ km}$

Vraag 1: massa van sterrenstelsels.

De massa van een sterrenstelsel is veel groter dan de massa van om het even welke individuele ster of gaswolk die zich er in bevindt. Dit wil zeggen dat we Newtons versie van de derde wet van Kepler kunnen gebruiken om de massa van het sterrenstelsel binnen de baan van een ster te berekenen. We gebruiken deze wet in de volgende vorm, die geldig is als één object (het sterrenstelsel) veel massiever is dan het andere object (de individuele ster)

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$

waarbij  $M$  de massa van het sterrenstelsel (binnen de baan van de ster) voorstelt,  $P$  en  $a$  respectievelijk de omwentelingsperiode en de lengte van de halve grote as van de baan van de ster voorstellen, en  $G$  de universele gravitatieconstante is.

- a) Toon aan dat de massa  $M_r$  van een sterrenstelsel binnen een bepaalde straal  $r$  geschreven kan worden als

$$M_r = \frac{rv^2}{G}$$

Hierbij is  $v$  de baansnelheid van een object op een afstand  $r$  van het centrum van het sterrenstelsel. Ga ervan uit dat de objecten op cirkelvormige banen bewegen rondom het centrum van het sterrenstelsel.

- b) De Zon beschrijft een baan rondom het centrum van ons Melkwegstelsel met een snelheid van 220 km/s en bevindt zich op een afstand van 28000 lichtjaar van het centrum ervan. Wat is de massa van ons Melkwegstelsel binnen de baan die onze Zon beschrijft?  
Druk je antwoord uit in zonsmassa's ( $M_{\odot}$ ).
- c) Van een nabijgelegen spiraalstelsel wordt een rotatiecurve opgesteld en deze toont aan dat objecten die zich op 150 000 lichtjaar van het centrum bevinden een snelheid hebben van 216 km/s. Wat is de massa dit sterrenstelsel?  
Druk je antwoord uit in zonsmassa's ( $M_{\odot}$ ).

De massa-lichtkrachtverhouding ( $M/L$ ) van een object is de totale massa van het object (uitgedrukt in zonsmassa's) gedeeld door de totale lichtkracht (uitgedrukt in zonslichtkrachten). De massa-lichtkrachtverhouding voor de Zon wordt dus gegeven door

$$\frac{M}{L} = \frac{1 M_{\odot}}{1 L_{\odot}} = 1 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}}.$$

- d) Wat is de massa-lichtkrachtverhouding van ons Melkwegstelsel binnen de baan van de Zon? De totale lichtkracht van alle sterren binnen deze baan bedraagt  $1,5 \times 10^{10} L_{\odot}$ .
- e) Als het hoger vermelde spiraalstelsel (uit vraag c) eenzelfde totale lichtkracht zou hebben, wat is dan de massa-lichtkrachtverhouding van dit sterrenstelsel? Wat kun je besluiten als je dit vergelijkt met het resultaat voor ons eigen Melkwegstelsel?

Vraag 2: massa van clusters.

Een cluster van sterrenstelsels heeft een straal van 6,2 miljoen lichtjaar. Metingen van de dopplerverschuiving in het spectrum van de sterrenstelsels tonen aan dat de sterrenstelsels met een snelheid van 1350 km/s rondom het centrum van de cluster bewegen.

- a) Bepaal de massa van de cluster aan de hand van de orbitale snelheid (= baansnelheid) van de sterrenstelsels. Druk je antwoord uit in zonsmassa's ( $M_{\odot}$ ).  
Vergelijk deze massa met de massa van ons eigen Melkwegstelsel ( $10^{12} M_{\odot}$ ).

Om de massa van een cluster van sterrenstelsels te bepalen kan ook gebruikgemaakt worden van de radiële snelheid van het hete gas dat aanwezig is in de cluster. De formule voor de gemiddelde radiële snelheid  $v_H$  (uitgedrukt in m/s) van de waterstofkernen in het gas wordt gegeven door

$$v_H = 140 \times \sqrt{T}$$

waarbij  $T$  de temperatuur (uitgedrukt in K) van het gas is. Aangezien het grootste deel van het gas uit waterstofkernen bestaat, kunnen we deze formule gebruiken om de snelheid van het gas te bepalen.

- b) Als je weet dat de hoger genoemde cluster gevuld is met een heet gas dat een temperatuur heeft van  $9 \times 10^7 K$ , bepaal dan de massa van de cluster. Druk je antwoord uit in zonsmassa's ( $M_{\odot}$ ).
- c) Hoe verhouden de resultaten bekomen aan de hand van de orbitale snelheid van de sterrenstelsels en aan de hand van de temperatuur van het hete gas in de cluster zich tegenover elkaar?

Open vragenreeks II: actieve galactische kernen

Zwarte gaten zijn compacte objecten die zo zwaar zijn, dat zelfs lichtdeeltjes (fotonen) niet kunnen ontsnappen aan hun zwaartekracht. De meest massieve zwarte gaten vindt men in het centrum van sterrenstelsels, en tegenwoordig weet men dat bijna alle grote sterrenstelsels rondom ons een supermassief zwart gat herbergen. Deze supermassieve zwarte gaten kunnen een massa hebben van een miljoen tot zelfs een miljard zonsmassa's.



Omdat er geen licht aan kan ontsnappen, kunnen we supermassieve zwarte gaten niet direct observeren. Wat we wel kunnen waarnemen, is de hete accretieschijf direct rondom het zwarte gat. Deze accretieschijf is enorm helder, daarom zien we uit het centrum van zo'n sterrenstelsel overmatig veel licht komen: dit is geen sterlicht, maar licht van de actieve galactische kern die de aanwezigheid van een supermassief zwart gat verraadt.

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

Vraag 1: schatting basisgrootheden.

- Veronderstel een supermassief zwart gat van  $10^9 M_{\odot}$ . Hoe groot is deze massa in vergelijking met alledaagse zaken zoals boodschappen uit de supermarkt? Druk je antwoord uit in *aantal pakken water* ( $6 \times 1,5$  liter).
- Beschouw de bijhorende actieve galactische kern. Als deze een straal heeft van  $10^{-5}$  pc, wat is dan de straal van dit object in kilometer? Hoeveel lichtjaar is dit? In hoeveel uur leggen lichtdeeltjes zo'n afstand af?
- Veronderstel dat ditzelfde systeem zich op een afstand van 10 Mpc van de Aarde bevindt. Welke hoek (in graden) bestrijkt deze kern dan aan de hemel?
- De diffractielimiet  $\ell$  van een telescoop (in radialen) kan berekend worden uit

$$\ell = \frac{\lambda}{D}$$

met  $\lambda$  de golflengte van het licht dat je waarneemt, en  $D$  de diameter van de telescoop. Hoe groot moet de diameter van je telescoop zijn om de actieve galactische kern uit vorige deelvraag waar te nemen, wanneer je kijkt:

- in optisch geel licht (580 nm)?
- in röntgenstralen van  $1 \text{ \AA}$ ?
- in radiogolven met een frequentie van 1 GHz?

Geef de gevraagde diameter van je telescoop steeds in meter.

Vraag 2: extreme gravitatie.

- a) Veronderstel dat een man van 90 kg zich op een afstand van  $10^{-6}$  pc van een zwart gat (met massa  $10^8 M_{\odot}$ ) bevindt, en veronderstel dat de Newtoniaanse zwaartekrachtswet geldt. Hoe groot is de zwaartekracht dan op deze man (uitgedrukt in newton)? Hoeveel keer sterker is dit dan zijn zwaartekracht op Aarde?
- b) Veronderstel nu dat deze man wordt ingezogen door dit supermassieve zwarte gat (voeten eerst). De man is 1,80 meter groot, en zijn voeten bevinden zich momenteel op  $10^{-6}$  pc van het zwarte gat, zijn hoofd 1,80 meter verder. Hoe sterk is de zwaartekracht (in newton) op de voeten van de man? Hoe groot is het verschil tussen de zwaartekracht op zijn voeten en de zwaartekracht op zijn hoofd? Je mag aannemen dat zijn massa zich enkel bevindt in zijn voeten (45 kg) en in zijn hoofd (45 kg) en de rest massaloos is.
- c) Gebruik je vorige antwoord om (kort) uit te leggen wat er zal gebeuren wanneer de man fataal wordt ingezogen door dit supermassieve zwarte gat, en maak een schets.

Vraag 3: energieproductie.

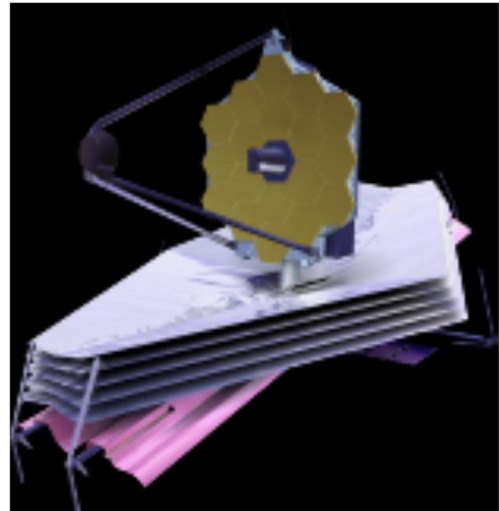
- a) Actieve galactische kernen zijn de meest energetische (persistente) lichtbronnen in het universum. Beschouw een actieve galactische kern met een lichtkracht van  $5 \times 10^{10} L_{\odot}$ . Druk dit uit in een equivalent aantal spaarlampen (vermogen van 10 W).
- b) Tegenwoordig is men het eens over de oorsprong van dit licht: Tijdens het accretieproces wordt een deel van de ingezogen materie omgezet naar energie volgens Einsteins formule  $E = mc^2$ . Veronderstel dat 2% van de geaccreteerde massa wordt omgezet in energie, welk massadebiet (in kg/s) moet dan ingezogen worden om de lichtkracht uit vorige deelvraag te bekomen?

Vraag 4: verduisterde actieve galactische kernen.

Een significant deel van alle actieve galactische kernen straalt niet helder wanneer we er met een optische telescoop naar kijken. Ze lijken dus verduisterd te zijn. Wanneer we er echter met een infraroodtelescoop naar kijken, zijn ze juist extra helder. Voer een kort onderzoek uit op het wereldwijde web, en leg in maximaal 5 zinnen uit wat hier aan de hand is.

Open vragenreeks III: de James Webb Space Telescope

In december 2021 werd de James Webb ruimtetelescoop gelanceerd. Deze telescoop, die wel eens de opvolger van de Hubble Space Telescope genoemd wordt, zal gedurende de komende jaren het infrarode heelal afspeuren, op zoek naar sporen van de eerste sterren, het ontstaan van planeten, en meer. In deze vragenreeks gaan we een beetje dieper in op de telescoop en de wetenschappelijke thema's van de James Webb missie.



Vraag 1.

De James Webb ruimtetelescoop heeft een opvallend ontwerp. Niet alleen is de gouden hoofdspiegel met een doorsnede van 6,5 m de grootste die ooit in de ruimte werd gelanceerd, ook het reflecterende zonnescerm dat de grootte heeft van een tennisveld is erg kenmerkend (zie afbeelding).

- a) We vergelijken de spiegelgrootte van de James Webb Space Telescope (JWST) met die van de Hubble Space Telescope (HST). De diameter van de hoofdspiegel van HST bedraagt 2,4 m. We bekijken nu de ster Proxima Centauri, die een lichtkracht van  $0,0017 L_{\odot}$  heeft, met beide telescopen. Hoeveel keer meer licht zal de JWST van deze ster ontvangen vergeleken met de HST?
- b) De James Webb ruimtetelescoop zal niet in een baan rond de Aarde bewegen, maar nabij een punt in de ruimte dat bekendstaat als het Lagrangepunt L2. In dit punt werken de zwaartekracht van de Zon en Aarde samen om objecten in een baan rond de Zon te houden. Bereken hoe ver L2 van de Aarde gelegen is. Tip: als  $d$  de afstand tussen de Zon en de Aarde is en  $x$  de afstand tussen de Aarde en L2, dan geldt bij benadering

$$\frac{1}{(d+x)^2} \approx \frac{1}{d^2} \left(1 - \frac{2x}{d}\right)$$

op voorwaarde dat  $x$  veel kleiner is dan  $d$ .

Geef voldoende uitleg bij je berekening en motiveer je aannames.

- c) Het zonnescerm van de JWST werkt als een schild om de telescoop af te schermen tegen de Zon. Dit is belangrijk omdat de telescoop gekoeld moet blijven voor waarnemingen in het infrarood. Bereken hoeveel energie per seconde het scherm onderschept van de Zon. Het scherm staat loodrecht op de inkomende zonnestrallen en heeft een totale oppervlakte van  $300 \text{ m}^2$ .



Vraag 2.

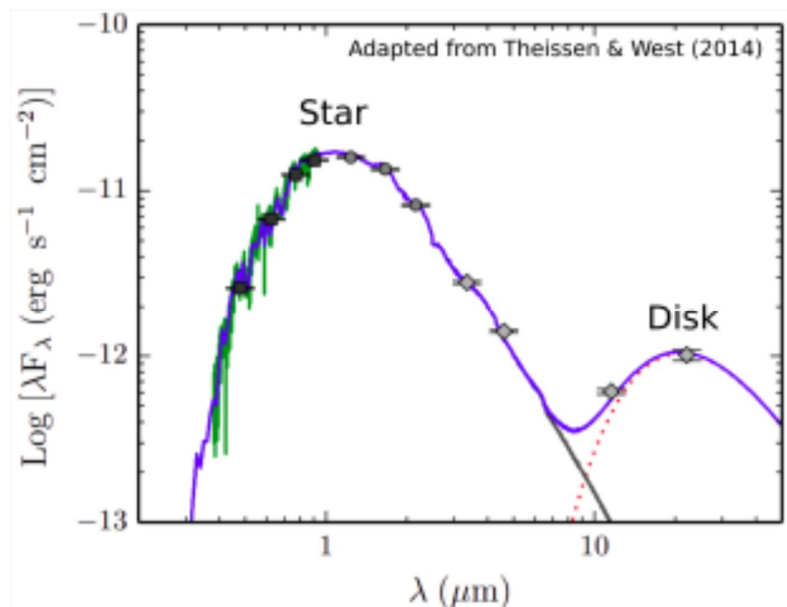
Eén van de voornaamste doelen van de JWST zal zijn om de sterren en sterrenstelsels te observeren die als eerste gevormd werden na de Big Bang. Hoe verder weg het object zich bevindt, hoe langer het licht erover gedaan heeft om ons te bereiken. Op die manier kunnen we dus terugkijken in de tijd en de condities kort na de Big Bang bestuderen.

- Een van de meest verafgelegen sterrenstelsels die met de HST waargenomen werden, heeft een Lyman  $\alpha$  spectraallijn op een golflengte van  $1,47 \mu\text{m}$ . Bereken de roodverschuiving van dit sterrenstelsel.
- De JWST heeft als doel om sterren en sterrenstelsels op nog grotere roodverschuivingen waar te nemen. Welke twee belangrijke verschillen met de HST zullen dit mogelijk maken?
- Is het mogelijk om nog verder in de tijd terug te kijken, door elektromagnetische straling te gebruiken met nog langere golflengtes dan het infrarood? Indien ja, wat zouden we dan zien? Leg uit.

Vraag 3.

Een ander belangrijk doel van de JWST is het onderzoeken van exoplaneten. Dankzij de hoge gevoeligheid in het infrarode gebied zal de JWST zeer geschikt zijn voor waarnemingen van sterren en planeetvorming, en zelfs voor het detecteren van moleculen in de atmosfeer van hete gasplaneten.

- Een belangrijk gegeven bij het vinden en bestuderen van (protoplanetaire) schijven rond sterren is de uitgestraalde energie als functie van golflengte, oftewel de spectrale energiedistributie (SED). Hieronder is een voorbeeld gegeven.



Aangeduid op de figuur zijn de verschillende fotometrische datapunten, samen met een model voor de ster, voor de schijf, en voor beide gecombineerd. Bereken aan de hand van de figuur (bij benadering) de temperatuur van de schijf en van de ster. Over welk type ster gaat het hier?

- b) Een manier om de atmosferen van exoplaneten te onderzoeken is via transmissie-spectroscopie. Leg bondig en in je eigen woorden uit hoe deze techniek werkt.
- c) De JWST zou met zijn hoge gevoeligheid en grote spiegel verschillen in het transmissie-spectrum kunnen meten tot op een nauwkeurigheid van 50 ppm (parts-per-million). We bekijken nu een typische hete gasplaneet met een straal die 1,3 keer die van Jupiter bedraagt, rond een ster zoals de Zon. In de atmosfeer van deze exoplaneet zorgt absorptie door CO voor een verandering van 500 km in de schijnbare straal van de planeet. Is dit signaal te meten met de JWST? Motiveer je antwoord.
- d) De JWST zal ook enkele kleine rotsachtige planeten in het vizier nemen, om de atmosferen van deze objecten verder te onderzoeken. Het risico is dat het transmissie-spectrum van dergelijke objecten volledig 'plat' zal zijn, dit wil zeggen er zijn geen variaties met de golflengte waar te nemen. Wat kunnen we dan leren uit zo'n spectrum?

Open vragenreeks IV: Betelgeuze

Bij de vragen hieronder kan gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

Straal van de Zon:  $R_{\text{zon}} = R_{\odot} = 6,95 \times 10^8 \text{ m}$

Constante van Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Lichtsnelheid in vacuüm:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

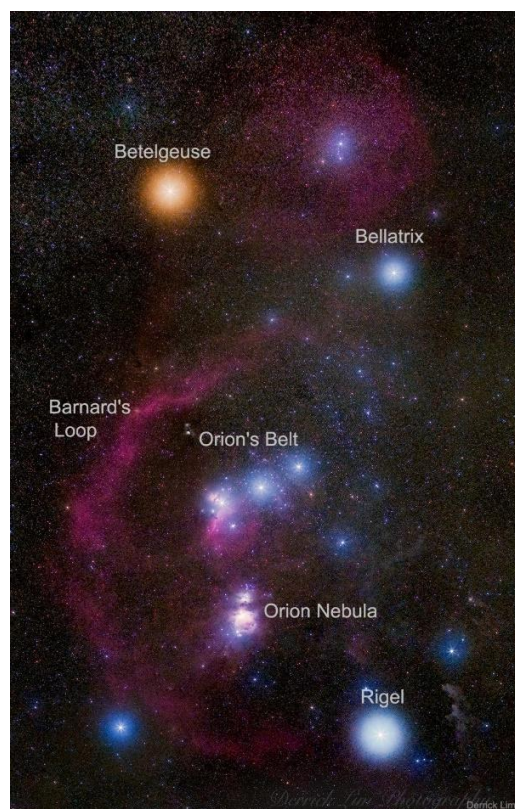
Constante van Boltzmann:  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

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

Absolute bolometrische magnitude van de Zon:  $M_{\text{bol},\odot} = 4,74$

Betelgeuze is de op één na helderste ster in het sterrenbeeld Orion en werd zelfs al beschreven in de klassieke oudheid, onder andere door de astronoom Ptolemaeus. Uiteindelijk is de naam ‘Betelgeuze’ afgeleid uit het Arabische woord Yad al-Jauza, wat “hand van al-Jauza (de reus Orion)” betekent. Op het einde van 2019 begon de belangstelling voor Betelgeuze opnieuw enorm te groeien, omdat deze ster een plotse afname in intensiteit vertoonde in de observaties. Op het internet ging rond dat dit zou betekenen dat Betelgeuze binnenkort een supernova-explosie zou ondergaan, maar niets bleek minder waar. Astronomen aan onder andere de KU Leuven hebben met gedetailleerd onderzoek kunnen aantonen wat hiervan wel de oorzaak was: hoogstwaarschijnlijk werd het dimmen veroorzaakt door een gigantische stofwolk aan het oppervlak van de ster. In deze vraag gaan we met behulp van enkele basisgrootheden in de sterrenkunde een model opstellen voor Betelgeuze.

We nemen hiervoor aan dat Betelgeuze een sferisch symmetrische zwarte straler is, waarvan het spectrum een piek vertoont in het infrarode deel rond 800 nm. We weten verder ook dat de schijnbare magnitude ( $m_{\text{bol}}$ ) van Betelgeuze gelijk is aan  $-1,17$  en dat de ster een straal ( $R_*$ ) heeft van 900 keer de straal van de Zon ( $R_{\odot}$ ).



Betelgeuze linksboven in het sterrenbeeld Orion. Foto: Derrick Lim (APOD, 21 maart 2018).

Vraag 1.

- Leg de verschuivingswet van Wien uit in eigen woorden.
- Gebruik deze wet om de oppervlaktetemperatuur van Betelgeuze te bepalen. Welke aanname laat ons toe om deze wet te gebruiken?
- Bereken de lichtkracht van Betelgeuze. Gebruik hiervoor de aanname dat we gemaakt hebben.

Vraag 2.

- Bepaal de absolute bolometrische magnitude van Betelgeuze. Leg kort uit wat men met ‘bolometrisch’ bedoelt en wat het verschil is tussen schijnbare en absolute magnitude.
- Maak een afchatting voor de afstand van Betelgeuze. Druk deze afstand uit in lichtjaar.
- Met wat je nu berekend hebt voor Betelgeuze, plaats deze ster in een Hertzsprung-Russell diagram en vertel wat we hieruit kunnen leren over de ster.

Vraag 3.

De wet van Planck kan weergegeven worden met volgende formule:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$$

Hier is  $h$  de constante van Planck,  $c$  de lichtsnelheid,  $k_B$  de Boltzmann constante,  $T$  de temperatuur en  $\lambda$  de golflengte.

Leid de verschuivingswet van Wien af, vertrekkende van de wet van Planck.

Daarbij mag gebruikgemaakt worden van het feit dat de vergelijking

$$\frac{x}{1 - e^{-x}} = 5$$

als oplossing  $x = 4,965$  heeft.



Dit is het einde van de eerste ronde van  
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2022.  
Kijk na bij je inzending of je alle gevonden oplossingen hebt ingezonden.

Heel veel succes!

