

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2019

31 januari 2019

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2019! 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 4 mei 2019. De winnaar mag – naar keuze – gaan waarnemen met de Mercatortelecoop 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 **8 april 2019**. Dit kan elektronisch via e-mail naar deelname@sterrenkundeolympiade.be of per post naar het adres:

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade
Vereniging Voor Sterrenkunde
Oostmeers 122c
8000 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.
- 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.
- 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 2019: Robin Baeyens (KULeuven), Robin Björklund (KULeuven), Jelle Dhaene (UGent), Frank Tamsin (VVS) en Sébastien Viaene (UGent).

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



Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2019

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:	.....
Leraar aardrijkskunde:	.....
Leraar wiskunde:	.....
Hoe werd je op de hoogte gebracht van de Sterrenkundeolympiade:	..... ..... .....

Meerkeuze vragenreeks

1. Het is middernacht en je ziet de planeet Venus recht boven je hoofd (in het zenit).
 - a) Venus bereikt op dat moment haar grootste elongatie.
 - b) Het is 21 maart.
 - c) Je bevindt je op de evenaar.
 - d) Je staat op de noordpool.
 - e) Je lijdt aan hallucinaties.

2. Hoe ver is de horizon verwijderd van iemand die rechtop staat en ongeveer 1,8 m groot is? We gaan er hierbij van uit dat de waarneming gebeurt op een vlak terrein op zeeniveau en dat er geen bergen in de buurt zijn. Effecten van atmosferische refractie en afplatting van de Aarde mogen verwaarloosd worden.
 - a) 2,4 km.
 - b) 4,8 km.
 - c) 24 km.
 - d) 48 km.
 - e) 240 km.

3. Op welk van volgende plaatsen is de lengte van de kortste dag van het jaar ongeveer half zo lang als de lengte van de langste nacht van het jaar?
 - a) Dubai (op 25° noorderbreedte).
 - b) Londen (op 52° noorderbreedte).
 - c) Rio de Janeiro (op 23° zuiderbreedte).
 - d) Tromsø (op 70° noorderbreedte).
 - e) Geen van bovenstaande.

4. Een 10 inch lenzenkijker met een openingsverhouding (dit is de verhouding tussen de brandpuntsafstand en de diameter) van $f/10$ wordt gebruikt in combinatie met een 25 mm oculair (1 inch = 2,54 cm). Wat is de vergroting van deze combinatie?
 - a) $10\times$.
 - b) $50\times$.
 - c) $100\times$.
 - d) $200\times$.
 - e) $254\times$.

5. Een astronomische interferometer is een reeks van afzonderlijke radiotelescopen die samenwerken als één enkele telescoop. Welke van de volgende ingrepen zal het oplossend vermogen van de telescoop het meest verbeteren?
- a) Het vergroten van de basislijn (of de afstand tussen de telescopen).
 - b) Het vergroten van het aantal telescopen per oppervlakte-eenheid.
 - c) Het vergroten van de diameter van elke telescoop.
 - d) Het vergroten van de stroomtoevoer voor elke telescoop.
 - e) Het verkleinen van de basislijn (of de afstand tussen de telescopen).
6. Bij welk van de volgende maanfasen is de getijdenbult op Aarde het grootst?
- a) Volle maan.
 - b) Eerste kwartier.
 - c) Toenemende maan vlak voor volle maan.
 - d) Afnemende maan vlak na volle maan.
 - e) Toenemende maan vlak tussen nieuwe maan en eerste kwartier.
7. De hooglanden op de Maan
- a) zijn ouder dan de zeeën op de Maan.
 - b) zijn bedekt met regoliet.
 - c) bestaan hoofdzakelijk uit ijzeroxide.
 - d) vertonen weinig bekratering.
 - e) voldoen zowel aan a als aan b.
8. Welke planeet is verantwoordelijk voor de Kirkwood-leemten?
- a) De Aarde.
 - b) Jupiter.
 - c) Saturnus.
 - d) Uranus.
 - e) Neptunus.
9. Voor een bepaalde komeet zijn volgende baanelementen van toepassing: $e = 1,2$ en $a = 19$ AE (astronomische eenheden). Als de komeet op Aarde zichtbaar was in 2018, in welk jaar zal ze dan opnieuw te zien zijn?
- a) 2080.
 - b) 2100.
 - c) 2109.
 - d) 2130.
 - e) De komeet zal niet meer opnieuw zichtbaar worden.

10. Veronderstel dat je op een planeet zou staan met dezelfde massa als de Aarde, maar waarvan de straal drie keer groter is. Dan is de gravitatiekracht die je aan het oppervlak van die planeet zou ondervinden

- a) dezelfde als op de Aarde, aangezien beide planeten dezelfde massa hebben.
- b) drie keer zwakker dan op de Aarde.
- c) drie keer sterker dan op de Aarde.
- d) negen keer zwakker dan op de Aarde.
- e) zes keer zwakker dan op de Aarde.

11. Welk van onderstaande technieken is nog niet met succes toegepast om exoplaneten te vinden?

- a) Radar.
- b) Rechtstreekse waarneming.
- c) Spectroscopische waarneming van radiële snelheden.
- d) Eclipsen.
- e) Geen enkele: alle bovenstaande methodes hebben reeds exoplaneten aan het licht gebracht.

12. Een ster heeft een parallax van $0,008''$. De straal van deze ster is 7,5 keer groter dan de straal van onze Zon en de spectraalklasse van deze ster is B 0.3 IV (die van de Zon is G 2 V). Welk van volgende waarden benadert het best de lichtkracht van deze ster?

- a) $36 L_{\odot}$.
- b) $56 L_{\odot}$.
- c) $540 L_{\odot}$.
- d) $3200 L_{\odot}$.
- e) $30000 L_{\odot}$.

13. Beschouw een ster met absolute magnitude M_0 . Veronderstel dat de ster zich opsplijt in N kleinere gelijkaardige sterren, alle met dezelfde temperatuur en gemiddelde dichtheid als de initiële ster, en dat de som van de massa's van de N kleinere sterren gelijk is aan de initiële massa van de opgesplitste ster. Wat is in dit geval de gecombineerde absolute magnitude M van de N sterren samen? We nemen aan dat geen enkele ster licht van een andere ster tegenhoudt (i.e. de lichtkrachten mogen opgeteld worden).

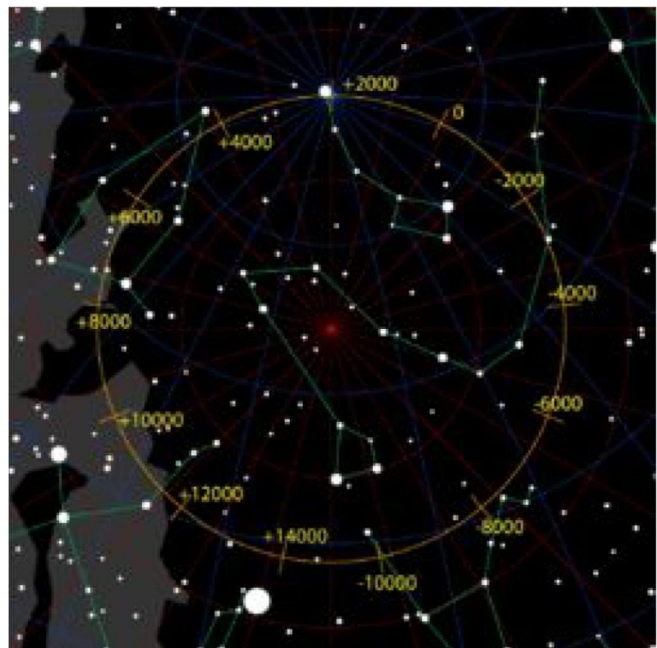
- a) $M = M_0 - \log N$
- b) $M = M_0 - 2,5 \cdot \log N$
- c) $M = M_0 - \frac{2,5}{3} \cdot \log N$
- d) $M = M_0 - \frac{2,5}{N}$
- e) $M = M_0 - 2,5 \cdot N$

14. Een moleculaire wolk waarin sterren worden gevormd heeft een temperatuur van ongeveer 1000 K. Op welk van volgende golflengten zendt dit stervormingsgebied het meest straling uit?

- a) 290 nm.
- b) 485 nm.
- c) 2900 nm.
- d) 4850 nm.
- e) 4850 Å.

15. Ten gevolge van de precessie van de equinoxen beschrijven de noordelijke en de zuidelijke hemelpool cirkels aan de hemelsfeer, met een periode van 25700 jaar. Bijgaande figuur toont de cirkel die die noordelijke hemelpool beschrijft. Momenteel bevindt de ster Polaris zich op minder dan een graad van de noordelijke hemelpool, en precies daarom ook wordt deze ster de Poolster genoemd. Welke ster van magnitude -1 zal zich in het jaar 10000 het dichtst bij de noordelijke hemelpool bevinden?

- a) Vega.
- b) Deneb.
- c) Thuban.
- d) Eltanin.
- e) Alderamin.

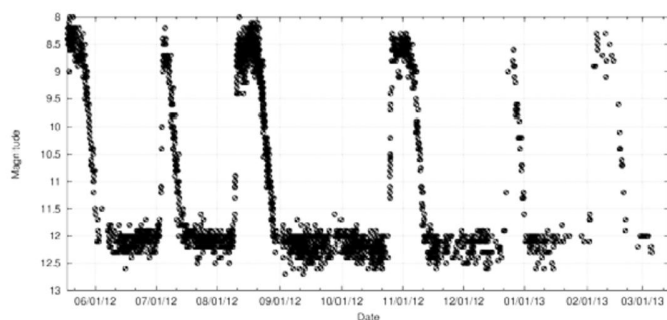


16. Hoe groot moet de massa van een ster zijn om een zuurstof-neon-magnesium witte dwerg te kunnen produceren?

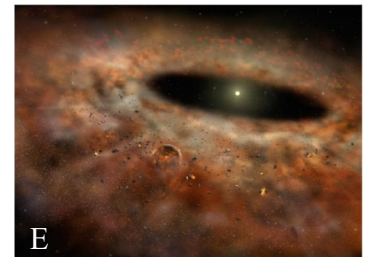
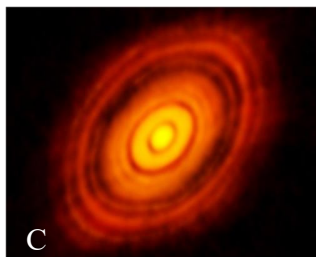
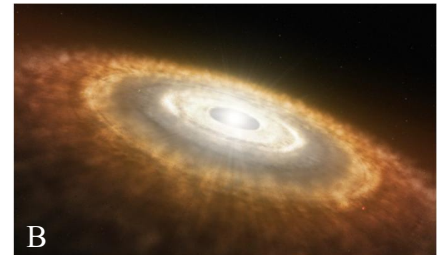
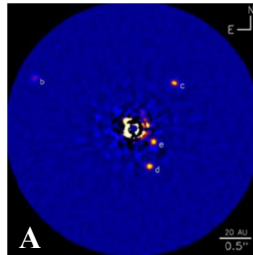
- a) tussen 4,5 en 6 zonsmassa's.
- b) tussen 6 en 8 zonsmassa's.
- c) tussen 8 en 10,5 zonsmassa's.
- d) tussen 10,5 en 12 zonsmassa's.
- e) meer dan 12 zonsmassa's.

17. De lichtkromme die in de figuur getoond wordt, komt overeen met die van

- a) een Mira veranderlijke ster.
- b) een recurrente nova.
- c) een type Ia supernova.
- d) een type II supernova.
- e) een AM Cvn systeem.



18. Bijgaande afbeeldingen stellen verschillende stadia voor in het leven van een object.
Gevraagd is de beelden te rangschikken van jong naar oud.



- A – B – C – D – E
- A – C – B – E – D
- D – A – B – C – E
- A – D – C – B – E
- D – C – B – E – A

19. Sterren A en B zijn hoofdreekssterren van hetzelfde spectraaltype. Hun schijnbare magnitude is respectievelijk 17 en 12. Ster A bevindt zich op een afstand van 1 kpc. Wat is dan de afstand van ster B?

- 10 pc.
- 100 pc.
- 10 kpc.
- 50 pc.
- 100 kpc.

20. Welk van volgende uitspraken is voor hoofdreekssterren van toepassing?

- Hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe minder lichtkrachtig de sterren.
- Hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe meer dergelijke sterren er zijn.
- Hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe groter de massa van de sterren.
- Er zijn meer dubbelsterren met een hoge dan met een lage oppervlaktetemperatuur.
- Geen enkele van bovenstaande uitspraken is correct.

21. Hoe groot zou de straal van de Zon worden als het een zwart gat zou worden (dus van 1 zonsmassa)?

- Ongeveer 1 km.
- Ongeveer 2 km.
- Ongeveer 3 km.
- Ongeveer 4 km.
- Ongeveer 5 km.

22. Een open sterrenhoop is een groep van sterren die hoogstwaarschijnlijk op hetzelfde moment uit dezelfde moleculaire wolk is ontstaan. De leeftijd van zo'n open sterrenhoop kan bepaald worden door naar het Hertzsprung-Russell-diagram te kijken. Op welk van de volgende redeneringen is die tijdsbepaling berust?

- a) In een oude open sterrenhoop worden geen zware sterren geboren.
- b) In een oude open sterrenhoop worden geen lichte sterren geboren.
- c) In een oude open sterrenhoop zijn de lichte sterren met spectraalklasse F, G, K, M al verder ontwikkeld als ster en ontbreken deze dus in de hoofdreeks in het Hertzsprung-Russell-diagram.
- d) In een oude open sterrenhoop zijn zware sterren met spectraalklasse O, B, A al verder ontwikkeld als ster en ontbreken deze dus in de hoofdreeks in het Hertzsprung-Russell-diagram.
- e) Geen van bovenstaande.

23. Een astronoom heeft een spectrum genomen van een ver sterrenstelsel. Uit dit spectrum leidt hij af dat dit stelsel geen gas heeft en ook geen sterren vormt. Dit sterrenstelsel is dus naar alle waarschijnlijkheid

- a) een spiraalstelsel.
- b) een Seyfertstelsel.
- c) een elliptisch stelsel.
- d) een planetaire nevel.
- e) een quasar.

24. Een bepaald sterrenstelsel heeft een straal van 40000 lichtjaar, en aan de rand van dat stelsel beschrijven de sterren hun baan met een snelheid van 50 km/s. Veronderstel dat het stelsel geen donkere materie bevat. Wat is dan de minimale massa van dit stelsel (uitgedrukt in zonsmassa's; $1 M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg).

- a) $6,87 \cdot 10^8 M_{\odot}$.
- b) $3,57 \cdot 10^9 M_{\odot}$.
- c) $4,21 \cdot 10^{11} M_{\odot}$.
- d) $9,69 \cdot 10^{12} M_{\odot}$.
- e) $4,37 \cdot 10^{13} M_{\odot}$.

25. In welk gebied van het Melkwegstelsel komen de meeste sterren van populatie I voor?

- a) Populatie I sterren zijn uniform verdeeld over alle gebieden van het Melkwegstelsel.
- b) Populatie I sterren komen het meest voor in de centrale verdikking (de zogenoemde bulge) van het Melkwegstelsel.
- c) Populatie I sterren komen het meest voor in de kern zelf van het Melkwegstelsel.
- d) Populatie I sterren komen het meest voor in de halo van het Melkwegstelsel.
- e) Populatie I sterren komen het meest voor in de schijf van het Melkwegstelsel.

26. Als gevolg van interstellair stof tussen de Aarde en een ster, lijkt het sterlicht voor ons

- a) ongewijzigd in helderheid en kleur.
- b) zwakker en blauwer.
- c) helderder en blauwer.
- d) zwakker en roder.
- e) helderder en roder.

27. Beschouw een gesloten heelal (zonder kosmologische constante), en veronderstel dat we waarnemen in een tijdperk dat de contractie van dit heelal reeds is gestart. Hoe zou het Hubble-diagram (waarbij de verwijderingssnelheden van sterrenstelsels zijn uitgezet ten opzichte van hun afstanden) er dan uitzien?

- a) De snelheden van de sterrenstelsels zouden globaal gezien positief zijn (wat wil zeggen dat de stelsels zich van ons verwijderen) en nog steeds evenredig met hun afstand.
- b) De snelheden van de sterrenstelsels zouden positief zijn in onze nabijheid, maar negatief op grotere afstanden.
- c) De snelheden van de sterrenstelsels zouden negatief zijn in onze nabijheid, maar positief op grotere afstanden.
- d) De snelheden van de sterrenstelsels zouden omgekeerd evenredig zijn met hun afstand.
- e) Dit valt niet te beoordelen zonder dat meer bekend is over onze plaats in het heelal.

28. Volgens de theorie van de speciale relativiteit bestaat het concept van absolute tijd niet. De snelheid waarmee de tijd vordert voor twee klokken hangt af van van de relatieve snelheid tussen deze twee klokken. Als jij één van beide klokken (klok 1) in je hand hebt en de andere klok (klok 2) beweegt aan 0,86 keer de lichtsnelheid c van je weg, hoeveel trager loopt klok 2 dan in vergelijking met klok 1?

- a) Ongeveer 1 keer trager.
- b) Ongeveer 2 keer trager.
- c) Ongeveer 3 keer trager.
- d) Ongeveer 4 keer trager.
- e) Ongeveer 5 keer trager.

29. De Tully-Fisher relatie is een methode om afstanden in het heelal te bepalen. Met name volgende uitspraak is erop van toepassing:

- a) De Tully-Fisher relatie wordt gebruikt om de afstand te schatten van de Cepheïde veranderlijke sterren.
- b) De Tully-Fisher relatie is de beste techniek om rechtstreeks de afstand te bepalen tot de verst verwijderde sterrenstelsels.
- c) De Tully-Fisher relatie maakt gebruik van de rotatiesnelheid van sterrenstelsels om de lichtkracht ervan te schatten.
- d) De Tully-Fisher relatie kan alleen gebruikt worden om afstanden te bepalen tot sterren die zich relatief dichtbij bevinden.
- e) De Tully-Fisher relatie maakt gebruik van de gemeten radiële snelheid van sterrenstelsels om de afstand ervan te schatten.

30. Welk van volgende gebeurtenissen doet zich in de geschiedenis van het heelal het eerst voor?

- a) het verval van protonen.
- b) de vorming van de eerste sterren en galaxieën.
- c) de periode van inflatie.
- d) de ontkoppeling van de vier fundamentele wisselwerkingen.
- e) het ontstaan van leven op Aarde.



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: afstandsbepalingen

Bij de vragen hieronder mag gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

$$L_{\odot} = 3,8 \times 10^{26} \text{ W}$$

$$1 \text{ AE} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ lj} = 2,063 \times 10^5 \text{ AE} = 3,0857 \times 10^{16} \text{ m}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

$$H_0 = 73,8 \text{ km/s/Mpc} = 22,6 \text{ km/s/Mlj}$$

$$H_{\alpha} : 656,3 \text{ nm}$$

$$H_{\beta} : 486,1 \text{ nm}$$

Vraag 1. (Schijnbare helderheid)

De schijnbare helderheid ℓ van een ster wordt gegeven door

$$\ell = \frac{L}{4\pi d^2}$$

waarbij L de lichtkracht van de ster en d de afstand tot de ster voorstelt.

- Wat is de schijnbare helderheid van de Zon op Aarde?
- Wat is het maximaal vermogen dat door een zonnepaneel met een efficiëntie van 20% kan geproduceerd worden. Wanneer wordt dit maximaal vermogen gehaald?
- Je meet 10^{-12} W/m^2 als schijnbare helderheid voor een ster van hetzelfde spectrale type en dezelfde lichtkrachtklasse als de Zon. Wat is de afstand (in lichtjaar) van deze ster?

Vraag 2. (Roodverschuiving en wet van Hubble)

De roodverschuiving z van een object kan gedefinieerd worden aan de hand van de volgende relatie tussen de geobserveerde golflengte van een lijn in het spectrum van een object en de rustgolflengte van dezelfde lijn van een object in rust:

$$z = \frac{\lambda_{\text{geobserveerd}} - \lambda_{\text{rust}}}{\lambda_{\text{rust}}}$$

Dit kan ook als volgt geschreven worden:

$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{geobserveerd}}}{\lambda_{\text{rust}}}$$

Deze waarde vertelt iets over hoeveel de golflengte uitgerekt is sinds het licht uitgezonden werd door een verafgelegen sterrenstelsel. Omdat deze uitrekking veroorzaakt wordt door de expansie van het heelal zelf, is ze ook proportioneel met de afstand tussen sterrenstelsels. Deze waarde geeft dan ook aan in welke mate de afstand tussen sterrenstelsels is toegenomen in de tijd dat het licht nodig had om ons te bereiken.

De relatie tussen deze roodverschuiving en de radiële snelheid van een sterrenstelsel ten opzichte van de waarnemer wordt gegeven door:

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

Hierin stelt v_r de radiële snelheid van het object ten opzichte van de waarnemer voor.

Verder kan de wet van Hubble-Lemaître, $v = H_0 \cdot d$, gebruikt worden om de relatie tussen de afstand d van een sterrenstelsel en de snelheid v waarmee het ten opzichte van ons weg beweegt te beschrijven.

a) Toon aan dat voor kleine roodverschuivingen, de snelheid waarmee een sterrenstelsel zich van ons verwijdert, geschreven kan worden als

$$v_r = c \cdot z.$$

b) Beschouw twee sterrenstelsels. De Balmer alfa lijn (H_α) van het eerste sterrenstelsel wordt waargenomen op een golflengte van 662,9 nm en van het tweede op een golflengte van 1640,75 nm. De Balmer beta lijn (H_β) wordt voor deze sterrenstelsels waargenomen op 491,0 nm en 1215,25 nm, respectievelijk. Wat zijn de roodverschuivingen van beide sterrenstelsels?

c) Hoe snel bewegen beide sterrenstelsels van ons weg? Daarbij mag je veronderstellen dat de beweging gebeurt volgens de gezichtslijn.

d) Hoe ver waren beide sterrenstelsels van ons verwijderd (in lichtjaar) op het moment dat de waargenomen straling uitgezonden werd?

e) Hoe ver zijn beide sterrenstelsels vandaag van ons verwijderd (antwoord in lichtjaar)?

f) Als je ervan uitgaat dat de expansiesnelheid van het universum steeds dezelfde was sinds het ontstaan ervan, hoe oud zou het heelal dan zijn op basis van de huidige waarde H_0 van de Hubble constante?

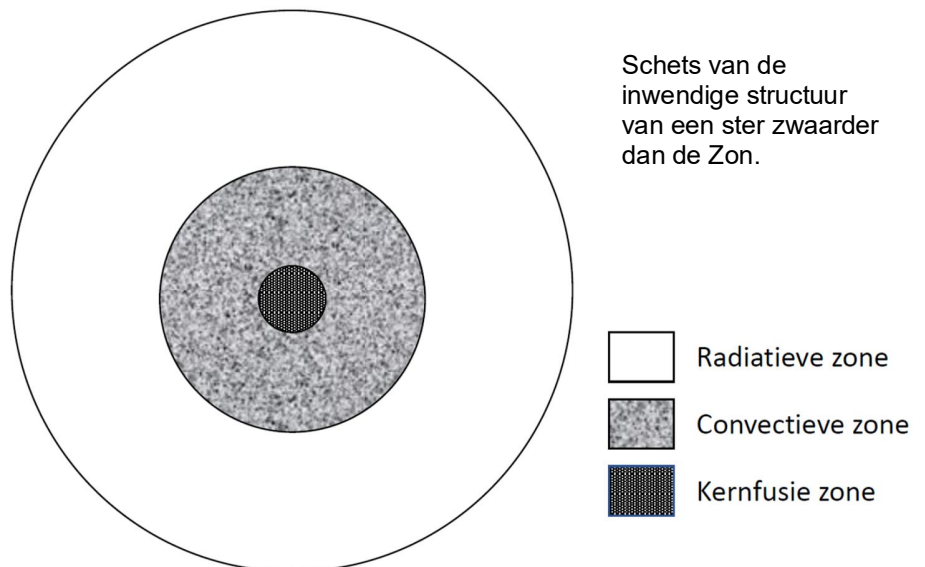
Open vragenreeks II: sterevolutie en dubbelsterren

De straal en vooral de massa van een ster zijn enkele van de fundamentele parameters die de evolutie van een ster bepalen. Zo is de massa van een ster de bepalende factor voor het eindproduct na de dood ervan.

Vraag 1.

Leg uit welke sterrenmassa's welke eindproducten opleveren. Waarom is er telkens een grens tussen het ontstaan van een eindproduct?

Om te weten hoe lang een ster leeft, is het niet enkel belangrijk te weten hoeveel totale massa de ster heeft, maar ook hoeveel massa er beschikbaar is voor de kernfusie. Sterren zwaarder dan de Zon hebben een convectieve zone in hun centrum. Zie de figuur voor een schets van de structuur in zo'n ster. Dit betekent dat materie gemengd wordt en dus alle waterstof in de convectieve zone ter beschikking is voor de kernfusie.



Vraag 2.

Bereken hoeveel energie de verbranding van alle waterstof naar helium kan opleveren voor een ster met een convectieve zone. Veronderstel een ster met een massa van $2 M_{\odot}$ waarbij 20% van de massa in de convectieve zone zit met een samenstelling van 75% H en 25% He.

Tip: gebruik de bekende formule $E = mc^2$ om de energie te berekenen van één reactie van 4 waterstofatomen naar 1 heliumatoom.

Vraag 3.

Bereken nu hoe lang de ster kan stralen indien dit de enige bron van energie is. Gebruik dus je antwoord uit vraag 2 en veronderstel dat de ster straalt met een lichtkracht van $12 L_{\odot}$.

Het is enorm moeilijk om parameters als straal en massa te achterhalen uit observaties. De afstand tot de ster moet goed gekend zijn of er moet gebruikgemaakt worden van technieken als asteroseismologie. Dubbelsterren bieden hier soms een oplossing voor. De dynamische beweging rond hun massacentrum geeft exact die informatie, en de meeste info wordt verkregen bij sterren die elkaar eclipsen.

Vraag 4.

De studie van een dubbelstersysteem leidt tot volgende observaties: twee sterren met dezelfde massa draaien rond hun centrum met een snelheid van 150 km/s. Ze voeren één omwenteling uit in 20 dagen. Bereken wat de massa is van de twee sterren.

Dubbelsterren maken het plaatje van sterevolutie echter ook moeilijker. In het geval van nauwe dubbelsterren zullen de sterren op een bepaald moment massa met elkaar uitwisselen. Dit biedt het pad van evolutie enorm veel meer opties, afhankelijk van hoeveel massa is overgedragen op welk punt van de evolutie.

Vraag 5.

Door de aanwezigheid van dubbelsterren is de hemel veel rijker aan bronnen die X-stralen produceren. Dit komt niet in dezelfde mate aan bod tijdens de evolutie van een enkelvoudige ster. Verklaar waar deze X-stralen vandaan komen.

Vraag 6.

Verklaar kort wat er kan gebeuren als een ster veel massa afstaat aan zijn partner die een witte dwerg is. Denk hierbij terug aan vraag 1.

Open vragenreeks III: het inwendige van planeten

In november 2018 is het ruimtetuig *InSight* op Mars geland om de interne structuur en het warmtetransport van de planeet te onderzoeken. Het is een enorme uitdaging om het inwendige van planeten of sterren te bestuderen. Slechts met een beperkt aantal technieken – zoals (astero)seismologie – zijn we hiertoe in staat. We gebruiken dus vaak theoretische modellen of onrechtstreekse observaties om meer te leren over het binnenste van planeten.

Vraag 1.

Een simpele observatie is dat de meeste hemellichamen van een redelijke grootte (diameter > 1000 km) bolvormig zijn.

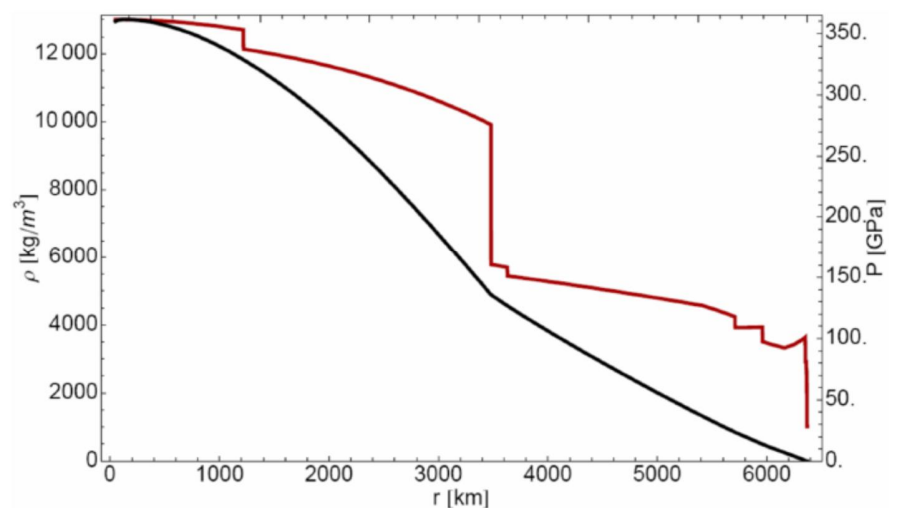
- Leg uit hoe dat komt.
- Zouden er planeten kunnen bestaan die niet bolvormig zijn?
- We proberen een vergelijking te vinden die de druk P in een rotsachtige planeet uitdrukt in functie van de afstand tot het centrum r . Als we aannemen dat de planeet perfect bolvormig is en een homogene massadichtheid heeft, kunnen we de volgende vergelijking gebruiken:

$$P = \frac{3GM^2}{8\pi R^4} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$$

Hier is G de gravitatieconstante, M de massa van de planeet en R de straal van de planeet.

Bereken met deze formule de druk in het centrum van de Aarde.

- In de figuur hiernaast zie je het profiel van de druk (zwarte lijn) en massadichtheid (rode lijn) in het binnenste van de Aarde, gebaseerd op een seismologische analyse. Was je berekening nauwkeurig in het voorspellen van de druk? Waarom wel/niet?



Vraag 2.

De aanname van perfect bolvormige planeten is slechts bij benadering juist. Rotatie zal ervoor zorgen dat de planeet lichtjes vervormt. Dit komt omdat de centrifugale kracht de zwaartekracht deels tegenwerkt.

- Welke soort vervorming kan je verwachten als gevolg van rotatie?
- Bereken de grootte van de centrifugale versnelling als gevolg van de rotatie van de Aarde voor een breedtegraad ϕ van 0° (evenaar), 45° en 90° (pool).

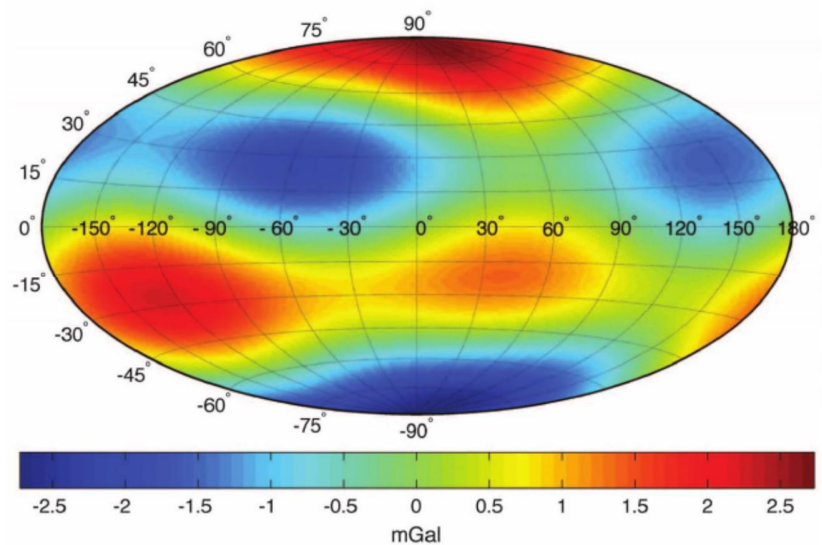
- c) Vergelijk je antwoord met de gekende waarde van de valversnelling op Aarde. Denk je dat het effect groot of klein is? Gebruik je berekeningen om het verschil tussen de straal aan de pool en aan de evenaar te schatten.
- d) Herhaal je berekening voor Jupiter. Verwacht je een grotere of een kleinere vervorming als gevolg van rotatie?

Vraag 3.

Gravimetrie, metingen van het zwaartekrachtsveld, is een vaak gebruikte techniek om het binnenste van planeten of manen te bestuderen.

a) Leg kort uit hoe gravimetrie werkt en wat het ons kan leren over de interne structuur van hemellichamen.

b) De figuur rechts toont metingen van het zwaartekrachtsveld van Enceladus (een maan van Saturnus), gemaakt door de Cassini ruimtesonde. Opvallend is de sterke asymmetrie tussen de noordpool en de zuidpool van de maan. Hoe zou je deze zwaartekrachtanomalie kunnen verklaren?



c) Er bestaan sterke aanwijzingen dat Europa, de vierde maan van Jupiter, een globale ondergrondse oceaan heeft die zich onder het volledige oppervlak van de planeet bevindt. Ga er voor deze vraag vanuit dat Europa uit twee lagen

bestaat: een metaal-rotsachtige mantel ($\rho_{\text{steen}} = 3,8 \text{ g/cm}^3$) met daarbovenop een oceaanaag ($\rho_{\text{water}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$). De gemiddelde massadichtheid van Europa bedraagt $\rho_{\text{gemiddeld}} = 3,0 \text{ g/cm}^3$. Bereken dan de dikte van de oceaanaag.

Vraag 4.

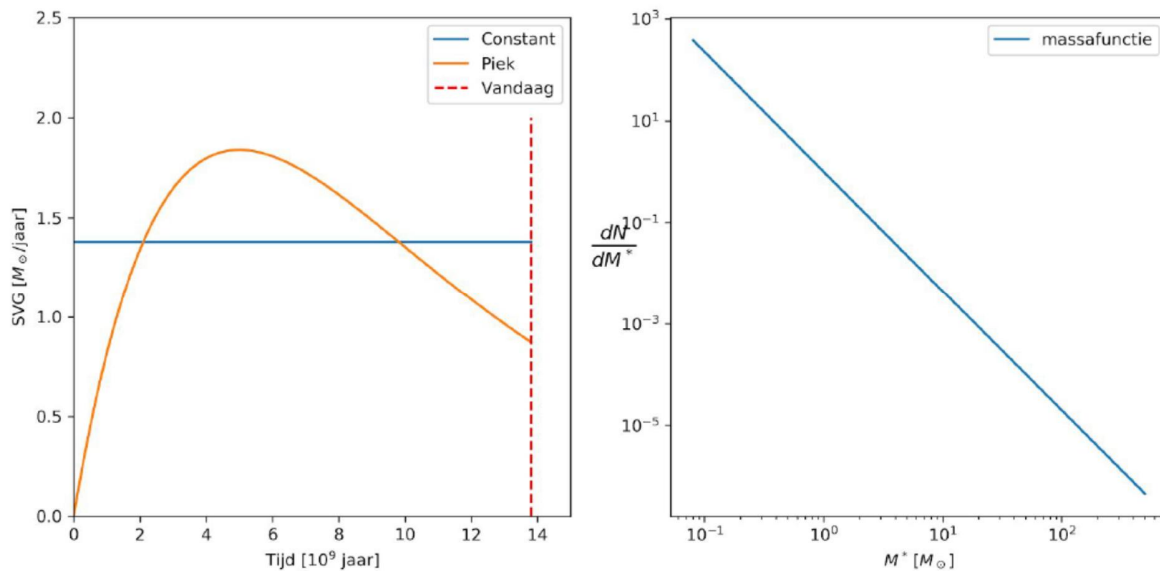
Voor planeten en manen in ons eigen zonnestelsel kunnen in-situ waarnemingen gedaan worden. Dit is evenwel niet langer het geval voor exoplaneten, die hiervoor op een te grote afstand staan. Leg uit hoe we toch de gemiddelde massadichtheid van een exoplaneet kunnen bepalen. Welke technieken zijn hiervoor nodig?

Open vragenreeks IV: sterrenstelsels

Sterrenstelsels starten als grote wolken gas en donkere materie. Doorheen hun evolutie zetten ze dit gas om in sterren. Twee belangrijke grootheden in dit verhaal zijn de stellaire massa M^* (de totale massa in sterren), en de stervormingsgraad (SVG, de hoeveelheid massa aan sterren die per jaar gevormd wordt). M^* kan gezien worden als de integraal van SVG over een tijdsperiode. In het simpelste model voor de evolutie van een sterrenstelsel is SVG constant, en groeit de stellaire massa zo lineair doorheen tijd (blauwe lijn op onderstaande figuur links). Een meer realistisch model gebruikt een gepiekte tijdsevolutie van SVG:

$$SVG = t \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Een typische waarde voor $\tau = 5$ miljard jaar, de tijd na de big bang waarop de stervorming piekt (oranje lijn op onderstaande figuur links).



De figuur links toont twee modellen voor de SVG van een sterrenstelsel als functie van tijd sinds de big bang. De rode lijn duidt de huidige leeftijd van het heelal aan (13,8 miljard jaar).

De figuur rechts is een voorbeeld van een Salpeter-initiële-massa functie in een log-log grafiek.

$\frac{dN}{dM^*}$ is het relatief aantal sterren voor een bepaalde sterrenmassa M^* .

Vraag 1.

- Bereken aan de hand van de bovenstaande vergelijking de totale stellaire massa die dit sterrenstelsel heeft opgebouwd tussen zijn ontstaan ($t = 0$) en vandaag ($t = 13,8$ miljard jaar).
- Welke SVG zou dit sterrenstelsel moeten hebben om dezelfde stellaire massa te bereiken in het geval van een constante SVG?
- Wat is de gemiddelde SVG over de laatste 100 miljoen jaar? Dit is een vaak gebruikte maatstaf om de huidige activiteit van sterrenstelsels te vergelijken met elkaar.

Vraag 2.

Om te weten welke soorten sterren gemaakt worden, doet men beroep op modellen voor de initiële massafunctie. Dit model geeft de kans $\frac{dN}{dM^*}$ dat een ster een massa M^* zal hebben wanneer een nieuwe ster gevormd wordt. Een veelgebruikt model voor de initiële massafunctie is die van Salpeter:

$$\frac{dN}{dM^*} = 0,045 \cdot (M^*)^{-2,35}$$

zoals weergegeven op de figuur hierboven rechts.

a) Controleer dat de oppervlakte onder de curve van de Salpeterverdeling gelijk is aan 1 tussen $0,08 M_{\odot} < M^* < 500 M_{\odot}$.

Hoeveel bedraagt de oppervlakte tussen $8 M_{\odot} < M^* < 500 M_{\odot}$? Dit is namelijk de fractie sterren die een supernova zullen opleveren.

b) Bereken de verwachte waarde voor de massa van een ster uit de Salpeterverdeling. Gebruik nu deze verwachte massa per ster en de totale stellaire massa uit vraag 1 a om het aantal sterren in het sterrenstelsel te bekomen.

Dit is het einde van de eerste ronde van
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2019.

Kijk na bij je inzending of je alle gevonden oplossingen hebt ingezonden.

Heel veel succes!