

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2020

31 januari 2020

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2020! 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 9 mei 2020. 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 **6 april 2020**. 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.
- Schrijf alle antwoorden duidelijk en overzichtelijk op. Zorg ervoor dat je antwoorden duidelijk leesbaar zijn. Let ook op het gebruik van de juiste eenheden.

- Niet alle vragen zijn even gemakkelijk. Raak hierdoor niet ontmoedigd! Deze olympiade is samengesteld om de beste inzenders te kunnen selecteren en wellicht is er geen enkele inzender die de olympiade perfect maakt. Kortom: ook als je maar een deel van de vragen hebt kunnen maken: stuur vooral je uitwerkingen in! Er worden immers ook prijzen verloot onder de inzenders die niet tot de finale doorstoten.
- Denk eraan dat opgaven en antwoorden van vorige jaren terug te vinden zijn op onze website www.sterrenkundeolympiade.be (bij 'voorbeelden'). Dit kan wellicht soms inspiratie opleveren.
- Vragen kunnen bij eerste lezing soms moeilijk of onbegrijpelijk overkomen. Lees in elk geval altijd eerst de volledige vraag, omdat verder in de vraag soms elementen kunnen aangereikt worden die zaken verklaren die eerst onduidelijk leken. Ook meerdere keren een vraag herlezen, kan je in vele gevallen helpen.
- Voor sommige opgaven zal je niet alle benodigde informatie voorhanden hebben. Het is dus goed mogelijk dat je een begrip (bijvoorbeeld supernova, dichtheidsprofiel, ...), getal (bijvoorbeeld de massa van de Zon, de constante van Boltzmann, ...) of symbool (M_{\odot} , ...) op internet of in een boek wil opzoeken. Dit mag je dan ook doen waar je dat maar nuttig lijkt, maar je vermeldt best je bron hierbij. De bronvermelding speelt mee als criterium bij de beoordeling van je antwoorden.
- 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 2020: 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 2020

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. Bij de zomerzonnwende culmineert de Zon op een bepaalde plaats op een hoogte van $+72^{\circ}50'$. Waar ergens kan dit het geval zijn?
 - a) tussen 0° en 15° noorderbreedte
 - b) tussen 15° en 30° noorderbreedte
 - c) tussen 30° en 45° noorderbreedte
 - d) tussen 45° en 60° noorderbreedte
 - e) tussen 60° en 75° noorderbreedte

2. Waarnemers op verschillende continenten zien tegelijkertijd de Maan op een iets andere plaats ten opzichte van de sterren aan de hemel staan.
 - a) Dit is onjuist: iedereen ziet de Maan op exact dezelfde plaats.
 - b) Dit wordt veroorzaakt door het parallaxeffect.
 - c) Dit wordt veroorzaakt door de lenswerking van de zwaartekracht.
 - d) Dit wordt veroorzaakt door het dopplereffect.
 - e) Dit wordt veroorzaakt door de continentendrift.

3. In tegenstelling tot op Venus, is het broeikas effect op Mars niet uit de hand gelopen. Wat is hiervoor de voornaamste reden?
 - a) Mars bevindt zich verder van de Zon dan Venus.
 - b) Het magnetisch veld van Mars is zwakker dan dat van Venus.
 - c) Op Mars komt geen koolstofdioxide voor.
 - d) Door de zwakkere gravitatie van Mars is de dichtheid van de atmosfeer er veel lager dan op Venus.
 - e) De atmosfeer van Mars bevat veel meer ozon dan die van Venus.

4. Welke van de volgende sondes heeft de Zon bestudeerd vanuit een baan die grote ecliptische breedtes kon bereiken?
 - a) Parker Solar Probe
 - b) Ulysses
 - c) Solar Polar Probe
 - d) Solar and Heliospheric Observatory
 - e) Geen enkele van bovenstaande

5. De baan van een komeet heeft een excentriciteit $e = 0,12$ en een halve lange baanas $a = 4$ AE (astronomische eenheden). Hoeveel bedraagt de periheliumafstand van deze komeet?
 - a) 3,0 AE.
 - b) 3,5 AE.
 - c) 4,0 AE.
 - d) 4,5 AE.
 - e) 5,0 AE.

6. Mars beweegt rond de Zon op een gemiddelde afstand van $2,28 \cdot 10^{11}$ m en heeft een straal van $3,39 \cdot 10^6$ m. De Zon heeft een vermogen van $3,828 \cdot 10^{26}$ W. Hoeveel zonne-energie valt er elke seconde op het oppervlak van Mars. De effecten van de dunne atmosfeer van Mars mogen verwaarloosd worden.

- a) 586 joule per seconde
- b) $4,23 \cdot 10^{16}$ joule per seconde
- c) $8,46 \cdot 10^{16}$ joule per seconde
- d) $3,45 \cdot 10^{17}$ joule per seconde
- e) $3,828 \cdot 10^{26}$ joule per seconde

7. Hoe zal de Aarde gezien worden vanaf Mars, op het ogenblik dat Mars zich in kwadratuur bevindt ten opzichte van de Aarde?

- a) in nieuwe fase
- b) in wassende fase
- c) in halve fase
- d) in afnemende fase
- e) in volle fase

8. De gemiddelde afstand tussen de twee groepen Trojaanse planetoiden bij Jupiter (de Grieken en de Trojanen) bedraagt (tot op 0,1 AE nauwkeurig)

- a) 2,8 AE.
- b) 4,5 AE.
- c) 5,2 AE.
- d) 9,0 AE.
- e) 10,4 AE.

9. De lengte van de halve lange as van de baan van Mars bedraagt 1,5 astronomische eenheden. De straal van de zon is 695700 km. Wat is de hoekdiameter van de zon gezien vanaf Mars (uitgedrukt in boogminuten)?

- a) 0,178'.
- b) 10,7'.
- c) 16,0'.
- d) 21,3'.
- e) 32,0'.

10. De terrestrische planeten zijn dicht bij de Zon gevormd:

- a) omdat bij de vorming van het zonnestelsel de meeste silicaten zich in het centrum van de nevel bevonden.
- b) omdat silicaten zich enkel konden vormen dicht bij de Zon.
- c) omdat het in het binnenste deel van het zonnestelsel zo heet was dat protoplaneten niet al te groot werden en daardoor geen significante hoeveelheden waterstof en helium konden invangen.
- d) omdat er zich weinig waterstof en helium bevond in het binnenste deel van het zonnestelsel op het ogenblik dat de terrestrische planeten gevormd werden.
- e) omdat de zwaartekracht van de Zon daar groter is.

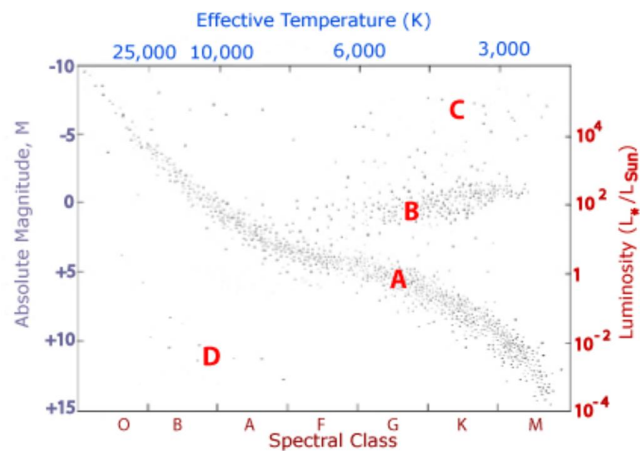
11. Wanneer Venus haar maximale oostelijke elongatie bereikt
- dan is de planeet zichtbaar aan de hemel in oppositie met de Zon.
 - dan is de planeet zichtbaar aan de hemel als 'avondster'.
 - dan is de planeet zichtbaar aan de hemel als 'morgenster'.
 - dan is de planeet zichtbaar aan de hemel in conjunctie met de Zon.
 - dan is de planeet niet zichtbaar aan de hemel.
12. Een 8 inch Dobson telescoop met openingsverhouding $f/6$ wordt gebruikt in combinatie met een 12 mm Plössl oculair (1 inch = 2,54 cm). Welke vergroting wordt hiermee bereikt?
- 30 ×.
 - 50 ×.
 - 72 ×.
 - 100 ×.
 - 200 ×.
13. De Very Large Array interferometer, die waarneemt bij een golflengte van ongeveer 1 meter, heeft een basislijn van 36,4 km. Hoe groot zou de diameter van een optische telescoop moeten zijn om dezelfde resolutie te bereiken in visueel licht (golflengte 550 nm).
- 2 cm
 - 20 cm
 - 36,4 m
 - 2 m
 - 20 m
14. Welk van de volgende objecten uit de catalogus van Messier heeft de laagste massa?
- M3
 - M5
 - M15
 - M33
 - M57
15. Welke van volgende sterren is het helderst (met het blote oog)?
- β Ori
 - β Cep
 - β Cyg
 - β Lyr
 - β CMa

16. Wat is het grootst mogelijke atoomnummer (Z) dat kan gevormd worden in de kern van de meest massieve sterren door middel van 'normale' fusie, dus voorafgaand aan het ineenstorten van de ster?

- 2, helium (He).
- 82, lood (Pb).
- 54, xenon (Xe).
- 26, ijzer (Fe).
- 92, uranium (U).

17. Een van de mogelijke eindes in de evolutie van een ster is een witte dwerg. In de figuur is een zogenoemd Hertzsprung-Russell-diagram weergegeven. De letters geven verschillende fases aan in de evolutie van een ster, die dus verschillende plekken hebben in dit diagram. Welke van de letters hoort bij de groep witte dwergen?

- A.
- B.
- C.
- D.
- Geen van bovenstaande.



18. Hoe lang duurt de hoofdreeksfase van een ster met een massa van 0,1 keer de massa van de Zon en van een ster met een massa van 10 keer de massa van de Zon? Er mag aangenomen worden dat de lichtkracht van een ster evenredig is met de macht 3,5 van de massa en dat de hoofdreeksfase van onze Zon 10 miljard jaar duurt.

- Voor de ster van $0,1 M_{\odot}$ is dit 100 miljard jaar en voor de ster van $10 M_{\odot}$ is dit 1 miljard jaar.
- Voor de ster van $0,1 M_{\odot}$ is dit 316 miljard jaar en voor de ster van $10 M_{\odot}$ is dit 316 miljoen jaar.
- Voor de ster van $0,1 M_{\odot}$ is dit $3,16 \cdot 10^{12}$ jaar en voor de ster van $10 M_{\odot}$ is dit $3,16 \cdot 10^7$ jaar.
- Voor de ster van $0,1 M_{\odot}$ is dit $3,16 \cdot 10^{12}$ jaar en voor de ster van $10 M_{\odot}$ is dit $3,16 \cdot 10^8$ jaar.
- Voor alle sterren duurt de hoofdreeksfase ongeveer 10 miljard jaar.

19. Schat de (gezamenlijke) visuele magnitude van de dubbelster α Pisces, als gegeven is dat de visuele magnitudes van de componenten afzonderlijk 4,3 en 5,2 zijn.

- tussen magnitude 0 en magnitude 1
- tussen magnitude 1 en magnitude 2
- tussen magnitude 2 en magnitude 3
- tussen magnitude 3 en magnitude 4
- tussen magnitude 4 en magnitude 5

20. De Orionnevel heeft rechte klimming $05^{\text{h}}35^{\text{m}}$ en declinatie $-05^{\circ}23'$. We zoeken de lokale zonnentijd wanneer de Orionnevel door de meridiaan ging tijdens de nacht van 1 februari 2019. De datum van de lente-equinox in 2019 was 20 maart.

- a) $20^{\text{h}}40^{\text{m}}$
- b) $22^{\text{h}}22^{\text{m}}$
- c) $12^{\text{h}}00^{\text{m}}$
- d) $01^{\text{h}}38^{\text{m}}$
- e) $03^{\text{h}}20^{\text{m}}$

21. De spectra van twee sterren A en B pieken bij golflengten van respectievelijk 500 nm en 250 nm. Wat is de verhouding van hun lichtkracht als ze zwarte gaten vormen met Schwarzschild-stralen in de verhouding 8:1? Neem aan dat hun dichtheden uniform en identiek waren voordat ze instortten om zwarte gaten te vormen en dat ze geen massa verloren hebben tijdens het vormen van de zwarte gaten.

- a) 2:1
- b) 4:1
- c) 1:4
- d) 1:2
- e) 1:1

22. Welk van volgende uitspraken over de sterpopulaties in ons Melkwegstelsel is correct?

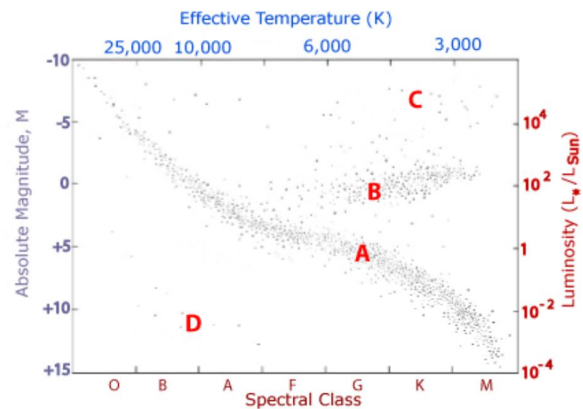
- a) Populatie I sterren bevinden zich vooral in de dunne schijf en de spiraalarmen en populatie II sterren komen vooral voor in de halo en de centrale verdikking.
- b) Populatie I sterren bevinden zich vooral in de dunne schijf en de centrale verdikking en populatie II sterren komen vooral voor in de spiraalarmen en de halo.
- c) Populatie I sterren bevinden zich vooral in de halo en de centrale verdikking en populatie II sterren komen vooral voor in de dunne schijf en de spiraalarmen.
- d) Populatie I sterren bevinden zich vooral in de dunne schijf en de halo en populatie II sterren komen vooral voor in de spiraalarmen en de centrale verdikking.
- e) In ons Melkwegstelsel komen enkel populatie II sterren voor.

23. Astronomen vermoeden dat de eerste sterren in het heelal zogenoemde populatie III sterren waren. Het spectrum van deze populatie III sterren bevat hoogstwaarschijnlijk:

- a) geen spectraallijnen
- b) spectraallijnen van alleen waterstof en helium
- c) spectraallijnen van extreem zware metalen
- d) spectraallijnen van kleine molecuuldeeltjes
- e) spectraallijnen van complexe koolstofmoleculen

24. 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 gebaseerd?

- In een oude open sterrenhoop worden geen zware sterren geboren.
- In een oude open sterrenhoop worden geen lichte sterren geboren.
- 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 groep aangeduid met de letter A in het HR-diagram.
- In een oude open sterrenhoop zijn zware sterren met spectraalklasse O, B, A al verder ontwikkeld als ster en ontbreken deze dus in de groep aangeduid met de letter A in het HR-diagram.
- Het klopt niet dat de leeftijd van zo'n open sterrenhoop kan bepaald worden door het HR-diagram te bestuderen.



25. Welk van volgende fenomenen kan géén aanleiding geven tot een type Ia supernova?

- Het samenvoegen van twee witte dwergen, elk met een massa van $0,5 M_{\odot}$.
- Het samenvoegen van twee witte dwergen, de ene met een massa van $0,98 M_{\odot}$ en de andere met een massa van $0,4 M_{\odot}$.
- De accretie van massa die afkomstig is van een begeleidente subreus op een witte dwerg.
- De accretie van massa die afkomstig is van een begeleidente reuzenster op een witte dwerg.
- Alle bovenstaande fenomenen kunnen wel degelijk aanleiding geven tot een type Ia supernova.

26. Diverse methoden om afstanden te bepalen in de sterrenkunde hebben elk hun eigen toepassing en bereik in afstanden waarvoor ze geschikt zijn. Wat geeft correct de volgorde weer waarvoor de methoden geschikt zijn, van nabij tot veraf?

- Stellaire parallax – Spectroscopische parallax – RR Lyrae variabelen – Wet van Hubble
- Spectroscopische parallax – Stellaire parallax – RR Lyrae variabelen – Wet van Hubble
- Stellaire parallax – RR Lyrae variabelen – Spectroscopische parallax – Wet van Hubble
- Stellaire parallax – Spectroscopische parallax – Wet van Hubble – RR Lyrae variabelen
- Spectroscopische parallax – Stellaire parallax – Wet van Hubble – RR Lyrae variabelen

27. Welk van de volgende uitspraken is correct?

- a) Voor sommige sterrenstelsels is de snelheid waarmee ze zich van ons lijken te verwijderen groter dan de lichtsnelheid.
- b) Het verband tussen snelheid en afstand van sterrenstelsels, zoals door Hubble geformuleerd, laat geen verwijderingssnelheden groter dan de lichtsnelheid toe.
- c) De wet van Hubble-Lemaître is eigenlijk niet verenigbaar met de speciale relativiteitstheorie.
- d) Als sommige sterrenstelsels een verwijderingssnelheid zouden vertonen die groter is dan de lichtsnelheid, dan zouden de fotonen van deze sterrenstelsels ons nooit kunnen bereiken.
- e) Aangezien de expansie van het heelal versnelt, zullen fotonen die op dit eigenste ogenblik worden uitgezonden door sterrenstelsels die zich met de lichtsnelheid van ons lijken te verwijderen, ons nooit kunnen bereiken.

28. Het spectrum van een object bevat een spectraallijn op golflengte 490 nm. In het labo wordt deze lijn waargenomen bij 500 nm. Wat kunnen we hieruit besluiten?

- a) Het object beweegt zich van ons weg aan $1/50$ van de lichtsnelheid.
- b) Het object beweegt zich van ons weg aan $1/10$ van de lichtsnelheid.
- c) Het object beweegt zich naar ons toe aan $1/50$ van de lichtsnelheid.
- d) Het object beweegt zich naar ons toe aan $1/500$ van de lichtsnelheid.
- e) Het object beweegt zich naar ons toe aan $1/10$ van de lichtsnelheid.

29. Astronomen denken dat het heelal een grote hoeveelheid niet waargenomen donkere materie bevat. Deze hypothese is gebaseerd op:

- a) het feit dat een groot gebied van het elektromagnetisch spectrum vanop Aarde niet waarneembaar is.
- b) de enorme hoeveelheden gas die men aantreft in spiraalstelsels.
- c) de enorme hoeveelheden donker stof in spiraalstelsels.
- d) de vlakke rotatiecurves van spiraalstelsels.
- e) de krachtige radio-emissie die afkomstig uit de kernen van spiraalstelsels.

30. In 2020 vieren we de honderdste verjaardag van het zogenoemde ‘Grote Debat’, dat in 1920 gehouden werd tussen Harlow Shapley en Heber Curtis. Daarin werd onder andere beweerd dat de Zon zich ver van het centrum van het Melkwegstelsel bevindt. Welke argumentatie werd aangevoerd om dit te onderbouwen?

- a) Er zijn Cepheïden waargenomen in andere galaxieën.
- b) Stof zorgt voor verroding van het sterlicht.
- c) Het feit dat we de Melkweg als een band aan de hemel waarnemen.
- d) De meeste bolvormige sterrenhopen bevinden zich langs één zijde van de hemel.
- e) Men zou spiraalnevels moeten kunnen zien roteren.



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: zwaartekracht

Bij de vragen hieronder mag gebruikgemaakt worden van volgende gegevens:

$$\text{Massa van de Aarde: } M_{\text{aarde}} = 5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$$

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

$$\text{Straal van de Aarde: } R_{\text{aarde}} = 6371 \text{ km}$$

$$\text{Afstand Aarde-Maan: } d_{\text{aarde-maan}} = 384400 \text{ km}$$

$$\text{Afstand Zon-Aarde: } d_{\text{zon-aarde}} = 1 \text{ AE} = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$$

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

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

Alle gegevens die nodig zijn om deze vragenreeks op te lossen zijn hierboven vermeld. Er mogen dus geen andere numerieke data gebruikt worden.

“Oh Gravity, Thou Art a Heartless Bitch”

Sheldon Cooper

Vraag 1.

Voor het oplossen van deze vraag mag je ervan uitgaan dat de satellieten zich in een cirkelvormige baan rondom de Aarde bevinden alsook dat de planeten een cirkelvormige baan rondom de Zon beschrijven, met respectievelijk de Aarde en de Zon in het midden van de cirkelvormige baan.

Stel dat de straal van de Aarde 10% groter zou zijn. Wat zou dit als gevolgen hebben voor de zwaartekracht aan het aardoppervlak? Reken dit na. Ga ervan uit dat de dichtheid van de Aarde dezelfde blijft.

In de volgende vragen wordt deze planeet de ‘Nieuwe Aarde’ genoemd. De Aarde, het aardoppervlak of dergelijke benamingen blijven verwijzen naar de Aarde in haar huidige toestand.

Vraag 2.

Hoe hoog boven het oppervlak van de Nieuwe Aarde is de zwaartekracht gelijk aan deze op het aardoppervlak?

Vraag 3.

Het International Space Station (ISS) bevindt zich op een hoogte van ongeveer 410 km boven het aardoppervlak.

a) Stel dat het ISS met dezelfde snelheid rondom de Nieuwe Aarde zou bewegen, hoe hoog zou het zich dan boven deze Nieuwe Aarde bevinden?

b) Wat is de gravitatie (valversnelling) in het ISS rondom deze Nieuwe Aarde? Zijn de astronauten die er zich bevinden nog steeds gewichtloos? Verklaar.

Vraag 4.

De verandering in massa en bijgevolg in gravitatie van de Nieuwe Aarde zal nog andere gevolgen met zich meebrengen.

- a) Wat is de ontsnappingsnelheid van deze Nieuwe Aarde?
- b) Hoeveel extra energie zou het procentueel kosten om een raket de ruimte in te sturen vanop de Nieuwe Aarde?

Vraag 5.

De grotere straal en dus ook grotere massa van de Nieuwe Aarde zou ook een effect hebben op de bewegingen binnen ons zonnestelsel.

- a) Stel dat de Maan zich even ver van de Nieuwe Aarde zou bevinden, hoe lang zou een omloop van de Maan rond de Nieuwe Aarde dan duren?
- b) Als deze Nieuwe Aarde zich even ver van de Zon zou bevinden als de huidige Aarde, hoelang zou een jaar dan duren?

Vraag 6.

Tot nu toe werd verondersteld dat alle banen cirkelvormig zijn. Een diepere kijk op de wetten van Newton en Kepler leert echter dat de Aarde en de Zon een baan beschrijven rondom hun gemeenschappelijk massamiddelpunt.

- a) Leg uit waarom deze veronderstelling van cirkelvormige banen een valabele benadering is.
- b) Geef een voorbeeld van een sterrenkundig fenomeen geven waarvoor deze redenering volledig de mist in gaat?

Vraag 7.

Uit de wetten van Newton kan de derde wet van Kepler afgeleid als

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)} a^3.$$

Hierin stellen M_1 en M_2 de massa's van beide objecten voor, a is de afstand tussen beide objecten en P is de baanperiode.

Hiermee rekening houdend, wat zal er dan effectief gebeuren met de periode van de Nieuwe Aarde rondom de Zon? Bereken hoeveel deze zal veranderen.

Open vragenreeks II: exoplaneten

De Nobelprijs voor Natuurkunde werd in 2019 uitgereikt aan Didier Queloz en Michel Mayor, voor de ontdekking van de eerste exoplaneet rond een hoofdreeksster. Deze planeet, 51 Pegasi b, werd ontdekt door de waarneming van periodieke variaties in de radiële snelheid van de moederster. Tot op heden werden honderden exoplaneten ontdekt via deze methode.

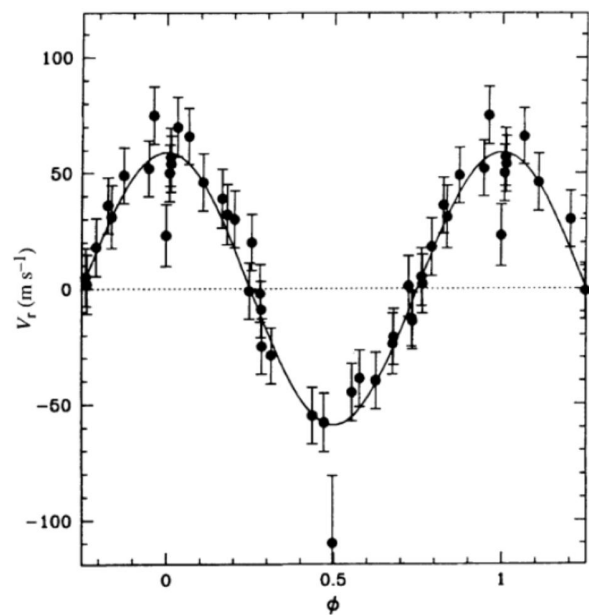
Vraag 1.

Via de Newtoniaanse mechanica kan de volgende formule worden afgeleid voor de amplitude K van de radiële snelheid:

$$K = \sqrt{\frac{G}{1 - e^2}} \cdot \frac{m \cdot \sin i}{\sqrt{a(M + m)}}$$

Hierbij zijn G de gravitatieconstante, e de excentriciteit van de baan van de exoplaneet, i de inclinatie, a de lengte van de halve grote as van de baan van de exoplaneet, M de massa van de ster en m de massa van de planeet. We berekenen de massa van 51 Peg b aan de hand van deze formule en de metingen in de figuur hiernaast, uitgevoerd door Mayor en Queloz. De massa van de moederster bedraagt 1,1 zonsmassa's.

- Bepaal de lengte van de halve grote as (in AE, astronomische eenheden) van de baan van exoplaneet 51 Peg b, als je weet dat de radiële snelheidscurve een periodiciteit van 4,23 dagen vertoont.
- Maak een schatting voor de excentriciteit e van de baan van de planeet. Beargumenteer je keuze.
- Bereken nu met bovenstaande formule en de gegevens, de geprojecteerde massa $m \cdot \sin i$ van de exoplaneet 51 Peg b. Druk je antwoord uit in Jupitermassa's (M_J).



Radiële snelheidscurve als functie van de orbitale fase ϕ van 51 Peg, gemeten door Mayor en Queloz in 1995.

Vraag 2.

De massa afgeleid in vraag 1 is slechts de minimale massa van de planeet. Dit komt doordat we enkel de projectie van de snelheidscurve kunnen waarnemen. De inclinatie moet gekend zijn om de reële massa te kunnen vinden.

- a) Bij welke inclinatie zou de massa van de planeet $4 M_J$ bedragen?
- b) Bij welke inclinaties zou 51 Peg b eigenlijk geen exoplaneet, maar een stellaire component blijken te zijn?
- c) Als we nu aannemen dat de oriëntatie van het systeem willekeurig is, hoe groot is dan de kans dat de reële massa van de planeet hoger is dan $4 M_J$?

(Tip: voor willekeurig verdeelde systemen zijn de inclinaties verdeeld volgens $\sin i$.)

Vraag 3.

De spectra van 51 Peg die hebben geleid tot de ontdekking van de exoplaneet werden genomen met de ELODIE spectrograaf. Deze heeft een golflengtebereik van 385 nm tot 680 nm. Bereken de maximale verschuiving van de spectrale lijnen die kan waargenomen worden als gevolg van de aanwezigheid van 51 Peg b.

Vraag 4.

Besprek kort waarom de ontdekking van 51 Peg b zo onverwacht was, en welke impact dit heeft gehad op ons begrip over planetenstelsels.

Open vragenreeks III: lichtkracht en massaverlies

Massaverlies bij sterren is een belangrijke factor die het leven van die sterren en hun omgeving kan beïnvloeden. Dit kan gebeuren in plotse uitbarstingen of via een stabiele gestage stellaire wind. Zo verliest de Zon per jaar $9,5 \cdot 10^{-14}$ zonsmassa's (M_{\odot}), maar er zijn sterren die veel meer massa verliezen. Deze sterren schijnen allemaal feller omdat ze ofwel veel heter ofwel veel groter zijn dan de Zon.

Vraag 1.

- Geef de standaard formule voor de lichtkracht L_* (energie per tijdseenheid) van een ster.
- Pas deze formule toe voor typische waarden voor een ster met spectraaltipe O4. Druk deze lichtkracht uit als veelvoud van de lichtkracht van de Zon (L_{\odot}).

Vraag 2.

De straling die gepaard gaat met de hoge lichtkracht werkt tegen de versnelling in die veroorzaakt wordt door de zwaartekracht. Theoretisch gezien zal er dus een limiet (de zogenaamde Eddington-limiet) zijn waarbij de lichtkracht zo hoog is dat ze de zwaartekracht overstijgt.

- Leid af wat de Eddington-lichtkracht is in functie van de massa van de ster door de zwaartekrachtversnelling

$$a_z = G \frac{M_*}{R_*^2}$$

gelijk te stellen aan de versnelling door de straling

$$a_s = \kappa \frac{L_*}{4\pi R_*^2 c}$$

Hierbij bepaalt κ hoeveel licht er wordt opgenomen. Bij benadering mag

$$\kappa = 0,04 \text{ m}^2/\text{kg}$$

genomen worden. Verder stelt c de lichtsnelheid voor.

- Bereken nu de limiet voor de O4 ster uit vraag 1 en vergelijk met de werkelijke lichtkracht. Is er een groot verschil?

Vraag 3.

Sterren aan deze limiet kunnen enorm veel massa verliezen. Er is echter een bovenlimiet aan dit stabiele massaverlies, die wordt bereikt als alle beschikbare energie van de ster wordt gebruikt om materie aan de zwaartekracht te doen ontsnappen.

Bepaal de bovenlimiet voor het massaverlies \dot{M} (wat kan geïnterpreteerd worden als $\frac{\Delta M}{\Delta t}$) voor een ster aan de Eddington-limiet met straal $R_* = 20 R_{\odot}$. Stel hiervoor de energiebalans op per tijdseenheid waarbij de beschikbare energie van de ster wordt gebruikt om de verloren massa (wat hier dus massa per tijdseenheid is) aan de ontsnappingssnelheid te krijgen. Vul dan de formule voor de ontsnappingssnelheid in voor je uiteindelijke uitkomst.

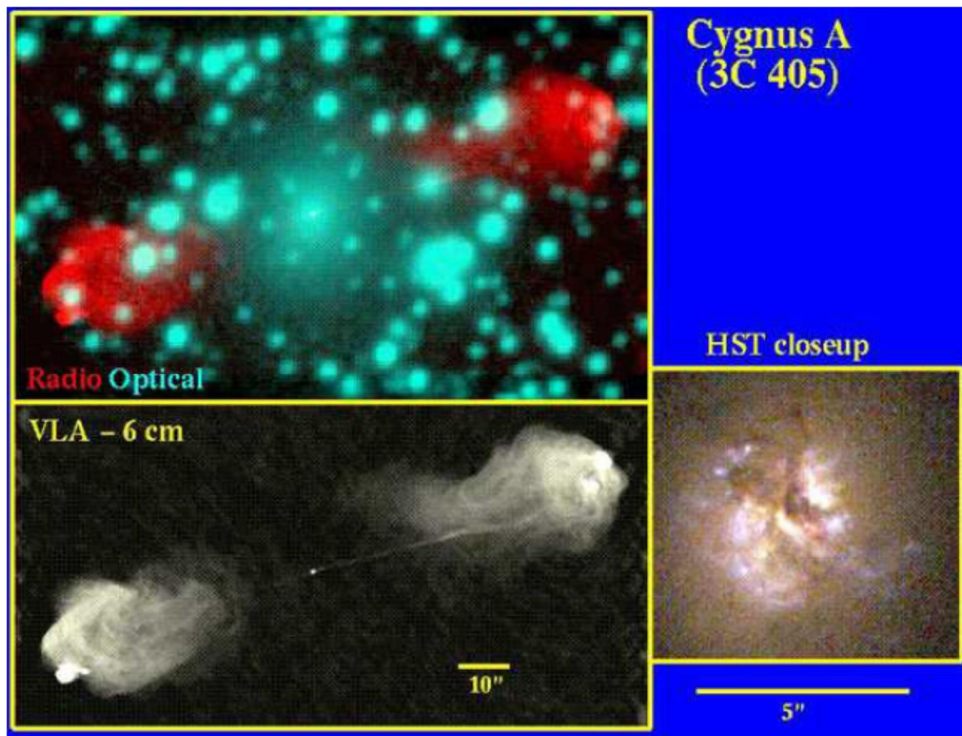
Vraag 4.

Er bestaan echter sterren die toch meer massa verliezen door kort boven de Eddington-limiet te komen. Dit gebeurt dan niet via een stabiele sterrenwind maar via een uitbarsting. Een bekend voorbeeld is uiteraard een supernova.

- a) Geef nog een voorbeeld van een object met intens massaverlies.
- b) De Eddington-limiet is een theoretische bovengrens voor de lichtkracht van een ster, maar is er ook een geobserveerde bovengrens? Leg uit.

Open vragenreeks IV: radiosterrenstelsels

Tussen de vele sterren van de Melkweg in het sterrenbeeld Zwaan, is een ver, zwak sterrenstelsel te zien, dat beroemd is door zijn radio-astronomische naam Cygnus A. Aan weerszijden van, maar ver buiten het sterrenstelsel, bevinden zich twee gigantische radiowolken, die bijvoorbeeld met de Very Large Array radiotelescoop in kaart zijn gebracht. De twee wolken van dit radiosterrenstelsel zijn door dunne straalstromen (jets) met het moederstelsel verbonden.



Vraag 1.

Van radiosterrenstelsel Cygnus A ontvangen we met radiotelescopen zoals die in Westerbork (Nederland) ongeveer $3 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ aan radio-energie. Het object bevindt zich op een afstand van 600 miljoen lichtjaar.

- Hoeveel watt straalt het stelsel aan radiostraling uit?
- De symmetrische radiowolken spannen een hoek op van 2 boogminuten. Met welke ruimtelijke afstand (in lichtjaren) komt dat overeen?

Vraag 2.

a) Als je je bedenkt dat de radiowolken gevoed worden door twee straalstromen (jets) naar de verste uiteinden van die wolken, dat die jets ontstaan in de kern van het moedersterrenstelsel en dat het transport van de energie door de jets plaatsvindt met een snelheid die 5% van de lichtsnelheid bedraagt, bereken dan hoe oud die wolken ongeveer zijn. Dat is dus de 'leeftijd' van het radiosterrenstelsel.

b) Stel dat gedurende de zojuist bepaalde leeftijd het eerder berekende vermogen (in watt) constant is geweest, hoeveel energie is er dan gedurende die tijd opgewekt? Vergelijk je antwoord met het wereldenergie-verbruik. Als je weet dat verbranding van steenkool ongeveer 30 miljoen J/kg oplevert, kan Cygnus A dan in theorie gevoed worden door kolencentrales? Zoniet, wat speelt er dan?

Dit is het einde van de eerste ronde van
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2020.

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

Heel veel succes!