

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2013

31 januari 2013

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2013! Zoals uitgelegd in het reglement 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 2013. De winnaar mag gaan waarnemen met de Mercatorttelescoop op La Palma (Canarische Eilanden), inclusief reis en verblijf.

Het is de bedoeling dat je de onderstaande vragen oplost en naar ons stuurt, uiterlijk op **31 maart 2013** op het adres:

Vlaamse Sterrenkunde Olympiade
Vereniging Voor Sterrenkunde
Oostmeers 122c
8000 Brugge

Elektronisch insturen kan ook, naar deelname@sterrenkundeolympiade.be.

Let hierbij op de volgende aandachtspunten:

- 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, 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.

- 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 keer 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 overtuigd dat er toch meerdere goede alternatieven zijn, les dan zeker uit waarom.
- Voor de open vragen wordt voor elk antwoord een motivatie verwacht. Een getal als uitkomst alleen verdient geen punten, evenals een enkel begrip. Laat met een berekening zien hoe je aan een getal komt, of 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 de deadline zetten we de uitwerkingen op internet, 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 2013: Steven Bloemen (KULeuven), Annelies Cloet-Osselaer (UGent), Jelle Dhaene (UGent), Ward Homan (KULeuven), Nicki Mennekens (VUB), Toine Mercier (JVS) en Frank Tamsin (VVS).

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



Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2013

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. Op een bepaalde dag zien we de Zon precies om 18 h lokale tijd ondergaan. Als de dichtheid van de aardse atmosfeer maar half zo groot zou zijn als in werkelijkheid, welke van volgende uitspraken zou dan gelden?

- a) Dan zouden we de zonsondergang zien kort ná 18 h lokale tijd.
- b) Dan zouden we de zonsondergang zien kort vóór 18 h lokale tijd.
- c) Dan zouden we de zonsondergang zien precies om 18 h lokale tijd.
- d) Dan zou het tijdstip van de zonsondergang afhankelijk zijn van de breedteligging van onze waarnemingsplaats.

2. Gezien vanuit Brussel (50°NB ; 4°OL) hebben sterren die zich op de hemelequator bevinden een declinatie van

- a) 0°
- b) 40°
- c) 50°
- d) 90°

3. We beschouwen volgende parameters van een object B dat bij een ander object A wil ontsnappen:

- I de massa van het object A waaraan men wil ontsnappen;
- II de massa van het object B dat wil ontsnappen;
- III de afstand tussen de massamiddelpunten van de objecten A en B;
- IV de lichtsnelheid.

In de klassieke mechanica is de ontsnappingssnelheid afhankelijk van

- a) I, II, III en IV;
- b) I en II;
- c) I en III;
- d) I, II en IV;
- e) I, III en IV.

4. Welk van volgende fenomenen doet zich voor ten gevolge van de baan van de Aarde rond de Zon en kan niet verklaard worden aan de hand van een geocentrisch model voor het zonnestelsel?

- a) de fenomenen van dag en nacht;
- b) het Corioliseffect;
- c) de aberratie van het sterlicht en de stellaire parallax;
- d) de retrograde beweging van de planeten;
- e) zonsverduisteringen.

5. De dichte atmosfeer van Venus geeft aanleiding tot een hoge temperatuur aan het oppervlak van deze planeet. Wat is hiervan de oorzaak?

- a) De atmosfeer reflecteert het meeste zonlicht terug de ruimte in;
- b) Winden in de hoge dichte atmosfeer genereren warmte door wrijving;
- c) De atmosfeer houdt het ontsnappen van infrarode straling van Venus tegen;
- d) Er doen zich endotherme chemische reacties voor in de atmosfeer van Venus.

6. Het inwendige van het maantje Io van Jupiter is gesmolten. De hitte die hiervoor nodig is, is afkomstig van

- a) getijdenwerking;
- b) veelvuldige meteorietinslagen;
- c) radioactief materiaal;
- d) een grootschalig broeikaseffect.

7. Sirius heeft een schijnbare magnitude van $-1,5$, terwijl Adhara (een van de sterren van de Grote Beer) een schijnbare magnitude heeft van $+1,5$. Wat is de verhouding van hun fluxen?

- a) 2,512
- b) 3,0
- c) 7,536
- d) 15,85
- e) 72,46

8. In vergelijking met de spectraallijnen in het spectrum van de Zon, zijn de lijnen in het spectrum van een superreus

- a) smaller;
- b) breder;
- c) zwakker;
- d) sterker;
- e) zowel b als c.

9. Op welke golflengte heeft een ster met een oppervlaktetemperatuur van 3000 K een piek in haar straling?

- a) $1 \cdot 10^{-6}$ m;
- b) $17 \cdot 10^{-7}$ m;
- c) 9 nm;
- d) 100 nm;
- e) 1000 m.

10. Welke van volgende tijden geeft het best de grootte-orde weer voor de tijd die verloopt tussen het moment dat energie in het kern van de Zon wordt gegenereerd en het ogenblik dat die aan het zonsoppervlak wordt uitgestraald?

- a) drie minuten;
- b) dertig dagen;
- c) duizend jaar;
- d) een miljoen jaar;
- e) een miljard jaar.

11. Lichte sterren worden aan het einde van hun leven een witte dwerg. Ze bevinden zich dan linksonder in het Hertzsprung-Russell-diagram. Naarmate deze objecten afkoelen, hoe zullen ze dan verder bewegen in het Hertzsprung-Russell-diagram?

- a) Ze blijven verder op dezelfde locatie;
- b) Ze zullen naar rechts bewegen;
- c) Ze zullen naar rechts en naar boven bewegen;
- d) Ze zullen naar links en naar boven bewegen;
- e) Ze zullen naar rechts en naar beneden bewegen.

12. Welk van volgende veranderlijke sterren zou als een Cepheïde gerangschikt worden?

- a) een superreus van spectraaltipe B met een periode van 0,14 dagen;
- b) een reus van spectraaltipe F met een periode van 14 jaar;
- c) een reus van spectraaltipe G met een periode van 14 uur;
- d) een reus van spectraaltipe K met een periode van 14 dagen;
- e) een superreus van spectraaltipe M met een periode van 140 dagen.

13. Object A heeft een temperatuur van 200 kelvin en object B heeft een temperatuur van 600 K. Wat kan gezegd worden over de straling die deze objecten uitzenden, aannemende dat beide objecten dezelfde oppervlakte hebben?

- a) Object B zendt 3 keer meer straling uit dan object A.
- b) Object B zendt 9 keer meer straling uit dan object A.
- c) Object B zendt 27 keer meer straling uit dan object A.
- d) Object B zendt 81 keer meer straling uit dan object A.
- e) Object B zendt evenveel straling uit dan object A.

14. Een astronoom ontdekt een dubbelster waarvan de ene component een hoofdreeksster is met 15 keer de massa van de Zon, en de andere component een reuzenster is met 10 keer de massa van de Zon. Waarom is dit op het eerste gezicht nogal verbazend?

- a) De twee sterren in een dubbelstersysteem zouden zich in dezelfde evolutiefase moeten bevinden en dus ofwel beide hoofdreekssterren zijn, ofwel beide reuzen;
- b) De twee sterren zouden dezelfde leeftijd moeten hebben, en dus zou de ster met de meeste massa als eerste een reus geworden moeten zijn;
- c) Reuzensterren komen normaal niet voor in een dubbelstersysteem;
- d) Een ster met een massa van 15 zonsmassa's is te groot om een hoofdreeksster te zijn;
- e) De kans dat twee dergelijke massieve sterren in één dubbelstersysteem zouden voorkomen, is zo klein, dat het erg onwaarschijnlijk is dat ooit dergelijk systeem zou ontdekt worden.

15. Waarom kunnen sterren in ons Melkwegstelsel gemakkelijker waargenomen worden in het infrarood dan in optisch licht?

- a) Stof absorbeert minder efficiënt infrarode straling dan optisch licht;
- b) Sterren zijn lichtkrachtiger in het infrarood dan in het optisch deel van het spectrum;
- c) Er zijn meer infrarode sterren in het Melkwegstelsel dan alleen maar de zichtbare sterren;
- d) Donkere materie zendt geen straling uit in het infrarood.

16. Hoe weten we dat quasars niet groter zijn dan het zonnestelsel?

- a) Ze zijn te helder om erg groot te zijn;
- b) Ze blijven puntvormig wanneer we ze door een krachtige telescoop waarnemen;
- c) Ze bevatten een zwart gat en moeten dus relatief klein zijn.
- d) Ze variëren in helderheid op tijdschalen van dagen tot weken.

17. Botsingen tussen sterrenstelsels

- a) zijn veel zeldzamer dan botsingen tussen sterren;
- b) kunnen elliptische stelsels omvormen tot spiraalstelsels;
- c) kunnen ervoor zorgen dat grote aantallen sterren botsen en exploderen;
- d) zorgen ervoor dat de gas- en stofwolken botsen, wat leidt tot snelle stervorming;
- e) zijn de beste verklaring voor de zogenaamde gamma-ray bursts.

18. Welke van volgende uitspraken over zwarte gaten is niet correct?

- a) Als we kijken naar een klok die naar een zwart gat toe valt, dan zien we die trager tikken naarmate die het zwart gat nadert;
- b) Als je kijkt naar iemand anders die in het zwart gat valt, dan zal je die nooit de waarnemingshorizon zien overschrijden; daarentegen zal die persoon uit het zicht verdwijnen doordat het licht dat hij of zij uitstraalt of reflecteert meer en meer roodverschoven zal zijn.
- c) Als je in een zwart gat zou vallen, dan zou je zelf je eigen tijd volledig normaal zien verlopen bij het overschrijden van de waarnemingshorizon;
- d) Als de Zon op een of andere mysterieuze wijze plots zou verdwijnen en vervangen zou worden door een zwart gat van dezelfde massa, dan zou de Aarde al snel door dat zwart gat opgezogen worden;
- e) Een zwart gat is echt een gat in de ruimtetijd, waarlangs we het waarneembare heelal zouden kunnen verlaten.

19. Welke parameter van het huidige heelal wordt – meer dan welke andere parameter dan ook – beschouwd als de bepalende factor voor het ultieme lot van het heelal?

- a) de hoeveelheid massa die zich ophoudt in de zwarte gaten in het heelal;
- b) het aantal fotonen in het heelal;
- c) het aantal neutrino's in het heelal;
- d) de hoeveelheid materie en energie in het heelal.

20. Een astronoom bestudeert een verafgelegen sterrenstelsel en meet een verwijderingssnelheid van 12000 km/s. Wat is de afstand van deze galaxie?

- a) 0,171 Mpc;
- b) 1,71 Mpc;
- c) 17,1 Mpc;
- d) 171 Mpc;
- e) 1710 Mpc.

21. We beschouwen de volgende tijdsschalen:

- 1 = dynamische tijdsschaal
- 2 = Kelvin-Helmholtz tijdsschaal
- 3 = nucleaire tijdsschaal

Welke rangschikking toont de tijdsschalen die de evolutie van de ster van 3 zonsmassa's bepalen in volgorde van kort naar lang.

- a) 1, 3, 2;
- b) 3, 1, 2;
- c) 2, 1, 3;
- d) geen van de vorige oplossingen is juist.

22. Een onderzoeker is op zoek naar een planeet waarop leven mogelijk is. Een noodzakelijke voorwaarde hiervoor is dat de planeet rotsachtig is, zodat ze een vast oppervlak heeft. Via fotometrische waarnemingen wordt een planeet gevonden via de transitmethode. De planeet blijkt een straal van 12000 km te hebben. De massa van de ster waar de planeet bij hoort, is 2 zonsmassa's. Welke van volgende massa's kan de massa van de planeet zijn?

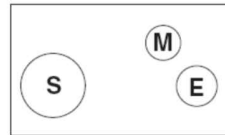
- a) $0.04120 M_{\text{Jupiter}}$
- b) $0.00310 M_{\text{Jupiter}}$
- c) $0.00151 M_{\text{Jupiter}}$
- d) $0.00022 M_{\text{Jupiter}}$

23. De Kepler satelliet maakt een lichtkromme van een eclipserende dubbelster waarrond een planeet cirkelt die wordt waargenomen in de lichtcurve met de transitmethode. Zowel de dubbelster als de planeet hebben cirkelvormige banen. Beide sterren hebben dezelfde temperatuur, massa en straal als de Zon. Welke uitspraak klopt niet?

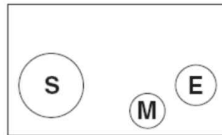
- a) Alle transits van de planeet over ster A en over ster B duren even lang.
- b) De transits van de planeet over één van beide sterren zijn in de lichtcurve waar te nemen als dipjes die minder diep zijn dan de eclipsen van de twee sterren.
- c) Het is mogelijk dat de planeet een transit maakt vóór de sterren A en B, terwijl deze sterren zelf in eclips zijn.
- d) De tijd tussen opeenvolgende transits van de planeet over ster A is niet constant.

24. Welke volgorde van de zon (aangeduid met S op de figuren hieronder), de maan (M) en de aarde (E) zorgt voor het hoogste hoogtij? Op de figuur beweegt de aarde rond de zon in tegenwijzerzin.

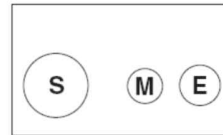
- a) (1)
- b) (2)
- c) (3)
- d) (4)



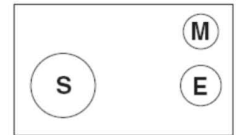
(1)



(2)



(3)



(4)

25. Welke methoden kunnen gebruikt worden om de afstand tot dichtbijgelegen galaxieën te meten?

- a) witte dwerg supernova's;
- b) parallaxmetingen;
- c) Cepheïden en witte dwerg supernova's;
- d) parallaxmetingen en Cepheïden.

26. Hoe ver staat een galaxie van ons als de geobserveerde golflengte van een spectraallijn 110 % van de rustgolflengte bedraagt?

- a) 4,3 Mpc;
- b) 43 Mpc;
- c) 430 Mpc;
- d) 4300 Mpc;
- e) Dit kan niet bepaald worden uit de gegevens.

27. Welke elementen zijn er allemaal gevormd tijdens de big bang nucleosynthese?

- a) H, He, Li, Be;
- b) alle gekende elementen;
- c) ijzer (Fe) en alle elementen die lichter zijn;
- d) He, Li, Be.

28. Hieronder staan vier uitspraken:

(I) Geïoniseerde nevels komen meer voor in spiraalgalaxieën dan in elliptische galaxieën.

(II) Donkere materie zorgt ervoor dat ons universum versnellend expandeert.

(III) Als galaxie A twee keer zo snel van ons wegbeweegt als galaxie B, dan staat ze twee keer zo ver van ons weg.

(IV) Als je standaardkaarsen gebruikt die achteraf minder helder blijken te zijn dan je dacht, dan zijn je bepaalde afstanden te klein.

Welke uitspraken zijn niet waar?

- a) (I) en (IV);
- b) (II), (III) en (IV);
- c) (I) en (III);
- d) (II) en (IV).

29. Plaats de gebeurtenissen in de vorming van ons zonnestelsel in de juiste volgorde:

- a) ineenslopende gaswolk, accretie condensatie, zwaar bombardement;
- b) zwaar bombardement, ineenslopende gaswolk, accretie, condensatie;
- c) ineenslopende gaswolk, condensatie, accretie, zwaar bombardement;
- d) Ineenslopende gaswolk, accretie, zwaar bombardement, condensatie.

30. Hoe worden spiraalarmen het best beschreven?

- a) Het zijn dichtheidsgolven die door de galaxie lopen. Er bevinden zich dus steeds andere sterren in de armen.
- b) De spiraal is een statische structuur die op zijn geheel meeroteert met de sterren van de galaxie.
- c) Sterren ver weg van het galaxiecentrum zullen trager bewegen dan sterren dichtbij het centrum, het spiraalpatroon zal zich dus opwinden.
- d) Het zijn willekeurige bewegingen van sterren die zorgen voor het spiraalpatroon.

Open vragenreeks I: sterrenhemel

De figuur rechts toont de sterrenhemel voor een bepaald tijdstip en voor een bepaalde plaats op Aarde. De sterren aan de rand zijn deze die te zien zijn aan de horizon; de sterren in het midden van de kaart bevinden zich boven de waarnemer. De zichtbaarheid van de Maan en de planeten is niet aangegeven.



Vraag 1.

Geef de posities aan van de vier windstreken (noord, oost, zuid, west).

Vraag 2.

a) Aan welke eigenschappen voldoet de gebruikte projectiemethode voor het maken van deze sterrenkaart:

- hoekgetrouw;
- oppervlaktegetrouw;
- afstandsgetrouw;
- behoud van kortste weg.

b) Welke geometrische constructie ligt ten grondslag aan deze projectie?

Vraag 3.

a) Vanaf welke van volgende plaatsen kan de sterrenhemel in de loop van het jaar 2013 op een of meerdere tijdstippen (bij benadering) ongeveer gezien worden zoals de sterrenkaart aangeeft, en vanaf welke plaatsen niet (en leg uit waarom):

- Brussel (België)
- Spitsbergen (Noorwegen)
- Bangalore (India)
- Kaapstad (Zuid-Afrika)
- Madrid (Spanje)
- Lima (Peru)

b) Kies één van de hierboven aangegeven plaatsen waarvoor de sterrenhemel in de loop 2013 kan waargenomen worden zoals op de kaart aangegeven. Veronderstel dat de kaart de sterrenhemel weergeeft rond middernacht lokale tijd. Rond welke periode van het jaar (maand) is dit het geval?

c) Kies één van de hierboven aangegeven plaatsen waarvoor de sterrenhemel in de loop 2013 kan waargenomen worden zoals op de kaart aangegeven. Veronderstel dat de kaart de sterrenhemel weergeeft rond midden mei. Rond welk tijdstip van de dag (uur) is dit het geval?

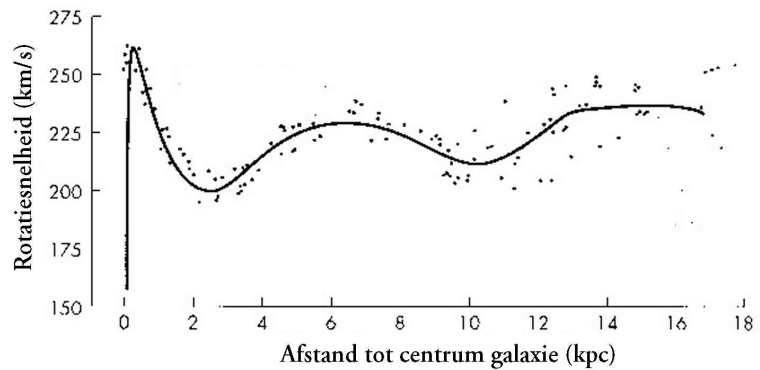
Vraag 4.

De sterrenkaart zoals hierboven getoond kan in het verleden of in de toekomst de sterrenhemel weergeven voor andere plaatsen (uit bovenstaande lijst) dan thans het geval is. Leg uit.

Open vragenreeks II: snelheidsprofielen

Vraag 1.

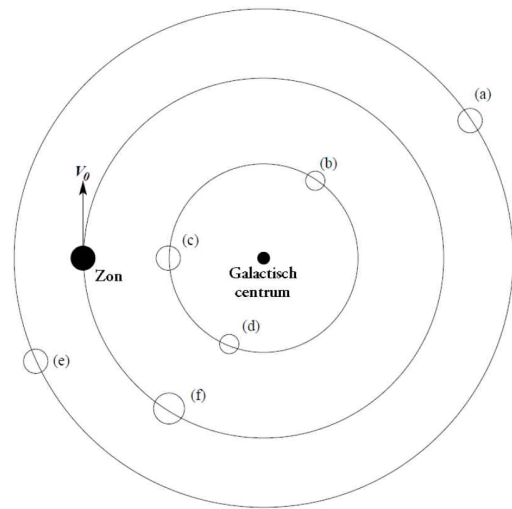
De grafiek rechts toont een zogenaamde “rotatiecurve” van ons Melkwegstelsel, waarbij de rotatiesnelheid van de objecten is uitgezet als functie van hun afstand tot het centrum van ons Melkwegstelsel. De punten stellen de gemeten waarden voor, terwijl de kromme een soort gemiddelde voorstelt.



Bereken op basis van deze rotatiecurve de totale massa die zich binnen een straal van 6 kiloparsec (= 6 kpc = 6000 pc) van het centrum van ons Melkwegstelsel bevindt.

Vraag 2.

De figuur hiernaast toont schematisch de beweging van de Zon en van enkele gaswolken rond het centrum van ons Melkwegstelsel. De positie van de Zon is aangeduid, samen met een snelheidsvector. We veronderstellen nu dat ons Melkwegstelsel een vlakke rotatiecurve zou vertonen, waarbij elk object met dezelfde snelheid roteert ($v = v_\theta$) als de Zon. Geef voor elk van de gaswolken (a – b – c – d – e)

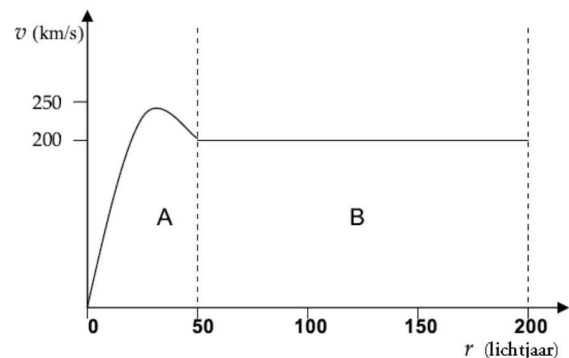


- geen verschuiving van de spectraallijnen;
- roodverschuiving;
- blauwverschuiving.

Leg elk antwoord uit!

Vraag 3.

De grafiek rechts toont het snelheidsprofiel $v(r)$ van een hypothetische bolvormige sterrenhoop. Het deel van de grafiek in gebied B kan bij benadering als constant beschouwd worden. We nemen aan dat de bolhoop gravitationeel gebonden is. Zij nu het massaprofiel $M(r)$ de totale massa van de bolhoop gelegen binnen een straal r van het centrum. Gevraagd is de grafiek te schetsen van $M(r)$ – en dit uiteraard zowel voor gebied A als gebied B.



Open vragenreeks III: pulsars

In 1967 ontdekte Jocelyn Bell een bron die pulsen uitstuurde met een periode van 1,337 seconde. Het object is nu gekend als een pulsar en er zijn sindsdien al meer dan 1000 gelijkaardige bronnen gevonden.

Men wist niet wat de zeer stabiele pulsen kon voortbrengen en besloot verschillende mogelijke scenario's na te trekken.

Vraag 1.

a) Een eerste scenario was dat het signaal de orbitale periode van de een dubbelster voorstelde. Reken uit hoe dicht bij elkaar twee puntmassa's met een massa van 1 zonsmassa zouden moeten staan om een baanperiode van 1,337 seconde te hebben.

b) Vergelijk deze afstand met de typische stralen van een hoofdreeksster zoals de zon, een typische witte dwerg ($M = 0,6 M_{\odot}$; $R = 0,01 R_{\odot}$) en een typische neutronenster ($M = 1,4 M_{\odot}$; $R = 25$ km). Welke sterren zouden er in de baan uit vraag a kunnen passen?

Vraag 2.

Een tweede optie is dat we te maken hebben met een pulserende ster. Witte dwergen pulseren aan periodes van enkele minuten.

a) Reken aan de hand van de typische stralen en massa's uit vraag 1b uit wat de dichtheid (ρ) van een witte dwerg en neutronenster is.

b) Je mag nu aannemen dat pulsatieperiodes evenredig zijn met $1/\sqrt{\rho}$. Als een witte dwerg een pulsatieperiode van 100 seconden heeft, wat zou dan de overeenkomstige periode bij een neutronenster zijn?

c) Kan dit de waargenomen periode verklaren?

Vraag 3.

Een derde optie is dat de periode overeenkomt met de rotatieperiode van een ster. De kortste rotatieperiode die een ster kan hebben, is de periode waarop de centripetale kracht en de gravitatiekracht aan de evenaar gelijk worden. Roteert de ster sneller, dan zou ze uit elkaar vliegen.

a) Reken de minimale periode uit voor dezelfde witte dwerg en neutronenster als in vraag 1b.

b) Kan dit de waargenomen periodiciteit van 1,337 seconde verklaren?

Vraag 4.

a) Wat is een pulsar?

b) Komt dit overeen met wat je uit de ruwe schattingen in de vorige vragen kan besluiten?

c) Wat als je weet dat er ook milliseconde pulsars bestaan met periodes van enkele milliseconden?

Open vragenreeks IV: massabepaling

Vraag 1: Massabepaling van zwarte gaten.

Met behulp van een 8 meter telescoop nemen we het centrum van ons Melkwegstelsel op regelmatige basis waar gedurende 20 jaar. We zien dat een bepaalde ster op een rechte lijn heen en weer beweegt: we kijken in de richting van het vlak waarin de ster in een elliptische baan beweegt. Daarnaast nemen we spectra van deze ster om zijn radiële snelheid V_r te bepalen. Je meet de hoekafstand (aan de hemel) tussen de 2 uiterste punten en deze bedraagt $s = 0,248''$. Daarnaast bepaal je ook nog de periode van de omwenteling, deze bedraagt $P = 15,24$ jaar. We meten ook nog de radiële snelheden in de uiterste punten: $v_1 = 473$ km/s en $v_2 = 7326$ km/s. Bovendien nemen we aan dat de zwaartekracht grotendeels afkomstig is van de massa van het zwarte gat.

- Bereken de grootte van de halve lange as a van de ellips (in astronomische eenheden).
- Welk punt van de extrema ligt het dichtst bij het zwarte gat en waarom? Welke is de snelheid in het pericenter en welke in het apocenter?
- Bereken de excentriciteit e van de baan van de ster (tip: denk aan het behoud van hoekmoment).
- Bereken de massa van het centrale zwarte gat met behulp van behoud van energie.

Vraag 2: Massabepaling van een cluster van sterrenstelsels.

Sterrenstelsels komen ook vaak voor in groepen die elkaar gravitationeel beïnvloeden. Het gas dat zich rond deze sterrenstelsels bevindt, kan zo warm worden dat het röntgenstralen begint uit te stralen. Met behulp van deze röntgenstralen kunnen we de massa bepalen van de groep: we kunnen berekenen hoeveel zwaartekracht er nodig is om ervoor te zorgen dat het hete gas niet wordt weggeblazen. We vereenvoudigen ons systeem door te stellen dat het een sferisch symmetrische verdeling heeft met dichtheid van de vorm $\rho(r)$, dit wil zeggen dat de dichtheid enkel afhankelijk is van de afstand tot het centrum.

- Toon aan met behulp van de vergelijking van hydrostatisch evenwicht (die veronderstelt dat de druk tegengewerkt wordt door de zwaartekracht) en met behulp van de ideale gaswet aan dat de massa binnen een straal r kan geschreven worden als:

$$M(r) = \frac{k}{\mu m_p} \frac{r^2}{G\rho(r)} \frac{d(-\rho T)}{dr}$$

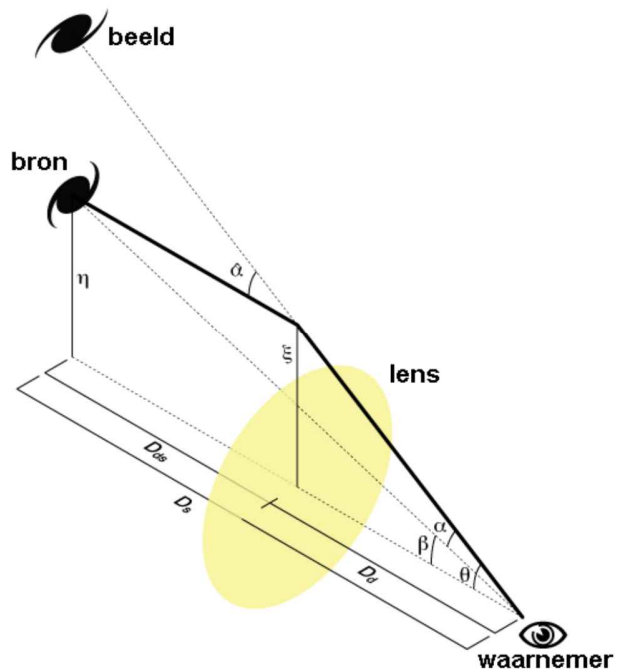
Hierbij mag er verondersteld worden dat de gemiddelde massa m van een gasdeeltje geschreven kan worden als $m = \mu m_p$, waarbij $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg de massa van een proton voorstelt en dat voor een gas dat volledig bestaat uit geïoniseerd waterstof $m = 0,5$ (in plaats van $m = 0,6$ voor een gas met solare samenstelling). Verder is $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K de constante van Boltzmann.

- In de groep rond het elliptische sterrenstelsel NGC1550 meet men röntgenstralen met een temperatuur $T_x = 1,6 \cdot 10^7$ K en $\rho(r) \sim r^{-1,1}$ tot op 200 kpc. Bereken de massa van de groep.
- De B-band luminositeit van deze groep bedraagt $L_B = 8 \cdot 10^{10} L_\odot$. Bereken de massa-lichtkracht verhouding (in eenheden M_\odot/L_\odot).

Open vragenreeks V: gravitationele lenzen

Vraag 1: De lensvergelijking.

- Wat is een gravitationele lens? En wat is het verschil met een optische lens?
- Welke drie soorten gravitationele lensing zijn er en beschrijf ze kort.
- Zowel door de klassieke (Newtoniaanse) mechanica als door de relativiteitstheorie van Einstein wordt de afbuiging van licht voorspeld. Waarin verschillen beide voorspellingen? Wie van beide heeft het bij het rechte eind en hoe werd dit voor de eerste keer aangetoond?
- Beschouw de figuur rechts.



Hierop stelt ξ de afstand van de lichtstraal tot aan het centrum van de lens voor. Omdat het licht slechts onder een kleine hoek zal afbuigen, kunnen we

$$\xi = D_d \theta \quad (1)$$

schrijven.

Verder kan men in de algemene relativiteitstheorie aantonen dat

$$\hat{\alpha}(\xi) = \frac{4GM(\xi)}{c^2 \xi} \quad (2)$$

waarin G de algemene gravitatieconstante is, $M(\xi)$ de massa binnen een straal ξ is en c de snelheid van het licht in vacuüm.

Uit de figuur volgt op triviale wijze dat

$$\beta = \theta - \alpha(\theta) \quad (3)$$

En deze uitdrukking wordt de lensvergelijking genoemd ($\alpha(\theta)$ betekent niets anders dan dat α functie, en dus afhankelijk is van θ).

Bewijs nu zelf de vergelijking

$$\alpha = \frac{D_{ds}}{D_s} \hat{\alpha} \quad (4)$$

Vraag 2: Puntlenzen.

- Stel de lensvergelijking ($\beta(\theta)$) op voor een puntlens (tip: $M(\xi) = M$ voor een puntlens).
- Als de bron, de lens en de waarnemer exact op één lijn liggen, dan zal het beeld van de lens een cirkel vormen. Bereken de straal θ_E van deze cirkel. Deze straal wordt de Einsteinstraal genoemd.
- Definieer $u = \beta / \theta_E$ en $x = \theta / \theta_E$. Bereken nu de oplossingen x voor de lensvergelijking in functie van u . Hoeveel oplossingen heb je? Wat merk je op aan deze oplossingen? (Tip: vergelijk met de Einsteinstraal.)
- Wat gebeurt er als de bron zich van de optische as verwijderd (dus wat gebeurt er als β groter wordt)?
- Kun je een voorbeeld geven van een astronomisch fenomeen dat als puntlens fungeert (kort antwoorden)?

Vraag 3: Cirkelsymmetrische lenzen.

Voor een cirkelsymmetrische lens kunnen we de lensvergelijking schrijven als

$$\beta(\theta) = \theta - \frac{D_{ds}}{D_d D_s} \frac{4GM(\theta)}{c^2 \theta} \quad (5)$$

Definiëren we de kritische oppervlakedichtheid als

$$\Sigma_{cr} = \frac{c^2}{4\pi G} \frac{D_s}{D_d D_{ds}} \quad (6)$$

dan wordt de lensvergelijking gegeven door

$$\beta = \theta \left(1 - \frac{\langle \Sigma \rangle(\theta)}{\Sigma_{cr}} \right) \quad (7)$$

waarbij

$$\langle \Sigma \rangle(\theta) = \frac{M(\theta)}{\pi(D_d \theta)^2} \quad (8)$$

de gemiddelde oppervlakedichtheid van de lens voorstelt binnen een cirkel met straal θ .

Als nu voor alle θ de dichtheid $\langle \Sigma \rangle(\theta) \leq \Sigma_{cr}$, dan zal het rechterlid van vergelijking (7) altijd positief zijn, wat er op neerkomt dat er slechts één beeld van de oorspronkelijke bron gevormd wordt. Wordt de oppervlakedichtheid ergens groter dan de kritische dichtheid, dan kan β ook negatief worden en zal er meervoudige beeldvorming ontstaan, wat voor cirkelsymmetrische lenzen neerkomt op de vorming van 3 beelden.

a) Beschouw een sferische massaverdeling waarvan het dichtheidsprofiel gegeven wordt door

$$\rho_H(r) = \frac{1}{4\pi G} \frac{V^2}{r^2 + a_s^2} \quad (9)$$

waarbij r de afstand is tot het middelpunt van de lens ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$), V een arbitraire constante en een a_s schaallengte voorstelt. Toon aan dat de oppervlakedichtheid $\Sigma(R)$ van deze massaverdeling geschreven kan worden als

$$\Sigma(R) = \frac{1}{4G} \frac{V^2}{\sqrt{R^2 + a_s^2}} \quad (10)$$

waarin R de straal in het hemelvlak is ($R^2 = x^2 + y^2$). (Tip: de oppervlaktedichtheid kan berekend worden door over de gezichtslijn (z -coördinaat) te integreren.)

b) Bepaal de massa binnen een straal b vertrekkende van de uitdrukking voor de oppervlaktedichtheid.

c) Bereken de voorwaarde voor a_s zodat er meervoudige beeldvorming mogelijk zou zijn. (Ga uit van het gegeven dat voor een cirkelsymmetrische lens $\langle \Sigma \rangle(\theta) \leq \Sigma_{cr}$ als $\langle \Sigma \rangle(0) \leq \Sigma_{cr}$.)

Vraag 4: Assymetrische lenzen.

Op de figuur rechts wordt een quasar gelensd. Dit beeld is het Einsteinkruis of QSO 2237+0305.

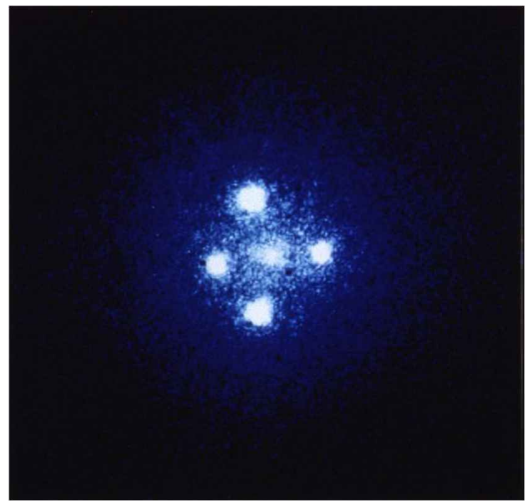
Doordat de lens, de waarnemer en de bron mooi op één lijn liggen, zal het gelensde beeld er uit zien zoals weergegeven op de foto. Deze quasar wordt waargenomen met een roodverschuiving van $z = 1,695$ en wordt gelensd door een spiraalgalaxie oproodverschuiving $0,039$.

a) Wat is de afstand van de waarnemer tot de lens?

b) Bepaal de kritische dichtheid (in M_{\odot}/pc^2).

c) Vier van de vijf beelden liggen bij benadering op een cirkel met een straal van $0,9''$. Als we deze waarde aannemen voor de Einsteinstraal, wat is dan de corresponderende straal in het lensvlak?

d) Bepaal de massa (in M_{\odot}) binnen deze straal van de spiraalgalaxie.



Dit is het einde van de eerste ronde van
de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2013.

Kijk na bij uw inzending of u alle gevonden oplossingen heeft ingezonden.

Heel veel succes!