

Voorrunde Sterrenkunde Olympiade 2016

ANTWOORDEN

15 april 2016

Meerkeuze

1. B. Zie o.a. Parallax pagina op Wikipedia
2. C. De brekingsindex van lucht (in het optisch) is temperatuurafhankelijk, voor radiogolven is dit veel minder het geval: “astronomisch zicht”.
3. D. Tijdens de levensduur van een ster wordt bijna altijd het grootste deel van de uitgestraalde energie uit waterstoffusie gehaald, zelfs als er andere processen bezig zijn.
4. A. Een witte dwerg is een overgebleven sterkeren.
5. D. Op de afstand dat onze zon van het midden van de Melkweg staat (8 kpc) is de zwaartekracht van de donkere materie net iets groter dan die van de gezamenlijke sterren.
6. B.
7. D.
8. C.
9. B. Deze schijf heet de proto-planetaire schijf.
10. D. Supergeleiding is ook nodig in een deel van de instrumenten, maar zeker niet omdat het energie scheelt.
11. B. Zowel planeten als bruine dwergen kunnen los voorkomen en voorkomen samen met een zwaardere ster. Een bruine dwerg en een ster worden onderscheiden op basis van het feit dat hoofdreekssterren waterstof kunnen fuseren en bruine dwergen niet.
12. D. Dit is weer het “astronomisch zicht” van vraag 2. Let op het verschil tussen *actieve optiek* en *adaptieve optiek*.
13. D. Reuzesterren zijn het eindstadium van stervolutie. De snelheid van de evolutie hangt alleen sterk af van de massa; lichte sterren kunnen miljarden jaren een hoofdreeksster blijven terwijl de zwaarste sterren binnen 100 miljoen jaar een reuzester worden. Een reuzester wordt groot omdat de kern van de ster heet genoeg is om helium te fuseren (en zwaardere elementen wanneer het helium op is).
14. C. Koolstof, stikstof en zuurstof werken hier slecht als katalysator voor de vorming van helium uit waterstof.
15. D. Let hierbij op het verschil tussen kosmologische roodverschuiving en Dopplerverschuiving, de eerste is een gevolg van de expansie van het heelal, waardoor dingen lijken te bewegen, de laatste het gevolg van een echte beweging.
16. C. Massieve sterren zijn blauw en leven kort. Als er geen nieuwe massieve sterren gevormd worden omdat er geen stervorming optreedt houd je dus alleen de langer levende rode sterren over.
17. C. Er bestond voor de CMB werd uitgezonden wel degelijk licht (zelfs meer energie in licht dan energie in materie op bepaalde momenten). Losse elektronen hebben alleen een grote wisselwerking met fotonen en daardoor konden de fotonen niet ver rechtdoor bewegen (en uiteindelijk ons bereiken).
18. D.
19. D.
20. A. Al is het natuurlijk wel fijn als het ergens warm is, helaas is het boven op de bergen waar de telescopen dan weer staan meestal iets minder warm.
21. A.
22. B.
23. B. Let op dat de Juliaanse kalender gebruikt wordt i.p.v. de Gregoriaanse kalender die we nu gebruiken.

Open Vragen

1 6 pt

Mogelijke antwoorden zijn onder andere:

- Sterren ver van het centrum van Melkwegstelsels bewegen sneller dan je zou verwachten aan de hand van de derde wet van Kepler gebruikmakend van de massa van materie dat licht (op alle golflengten) uitzendt. Er moet dus meer materie zijn dat geen licht uitzendt.
- De gemiddelde snelheid van sterrenstelsels in een cluster wordt bepaald door de zwaartekracht-potentiaal via het viriaaltheorem. Uit de snelheden van de sterrenstelsels in een cluster leidt je een grotere massa af dan je krijgt door de massa's van alle sterrenstelsels op te tellen.
- Door gebruik te maken van zwaartekrachtlenzen kan je de massa van sterrenstelsels en clusters van sterrenstelsels meten. Deze metingen geven aan dat de massa in de sterrenstelsels en clusters hoger is dan de massa die licht uitzendt.
- Via het viriaaltheorem is een relatie af te leiden voor de temperatuur van gas in een zwaarte-krachtpotentiaal. Temperatuurmetingen van dit warme interclustermedium geven temperaturen veel hoger dan verwacht op basis van de waargenome materie.

2 a 4 pt

Mogelijke antwoorden zijn onder andere (Naam; uitleg; type object(b); schaal(b)):

- Cepheïden; een pulserend stertype met een periode-lichtkrachtrelatie; sterren in de Melkweg, lokale groep, nabije universum.
- Type Ia supernova; een type supernova met vaste lichtkracht (staat enigszins onder discussie); witte dwergen die een supernova worden en het sterrenstelsel waar ze in zitten: lokale groep, nabije universum, kosmologische afstanden.
- Roodverschuiving; de uitdijing van het heelal verschuift spectraallijnen naar grotere golflengten. Hierbij hangt de mate van verschuiving af van de afstand; sterrenstelsels; kosmologische afstanden.
- Parallax: door de beweging van de aarde rond de zon kijken we steeds op net een andere hoek naar de hemel, hierdoor lijken de dichtstbijzijnde sterren een cyclische beweging ten opzichte van de rest te maken. Uit de verschuiving is met geometrie de afstand te bepalen; sterren; sterren in de nabije omgeving van de zon.
- Hertzsprung-Russeldiagram (HR-diagram) (plot van temperatuur/spectraal type van sterren tegen de waargenomen lichtsterkte); sterren die op de hoofdreeks zitten hebben een relatie tussen de oppervlakte temperatuur en de totale lichtkracht van de ster. Door een observationeel HR-diagram te vergelijken met theoretische modellen is de afstand van een groep sterren te bepalen (de onzekerheden voor individuele sterren zijn te groot om dit efficiënt te kunnen doen); globular clusters, open sterhopen; de Melkweg, lokale groep.
- Tully-Fisherrelatie; De Tully-Fisherrelatie is een relatie tussen de snelheidsdispersie en de absolute lichtkracht voor elliptische sterrenstelsel; ellipische sterrenstelsel; nabije universum, kosmologische afstand.

b 2 pt

Zie het antwoord bij a.

c 2 pt

De kosmologische afstandsladder is de combinatie van alle methoden in de sterrenkunde om afstanden te meten. Omdat methodes overlappen zijn er objecten waarvoor je op verschillende manieren de afstand kan bepalen. Op deze manier kan je een zekere methode op kortere afstanden gebruiken om je methoden op langere afstanden te ijken en dus zekerder te maken. Bijvoorbeeld: door het meten van parallaxen van Cepheïden kan je de relatie vinden tussen de pulsatiesnelheid van de ster en de lichtkracht. Als je deze relatie hebt gevonden kan je daarna Cepheïden gebruiken om afstanden te meten naar objecten waarvoor de parallaxmethode niet werkt omdat ze te ver weg staan.

3 a 2 pt

Mogelijke antwoorden zijn onder andere:

- De chemische compositie van een komeet kan worden gebruikt om te bepalen hoe ver van de zon een komeet moet zijn gevormd.
- Door gebruik te maken van simulaties van het zonnestelsel is het mogelijk om af te leiden waar een komeet vandaan moet zijn gekomen en welke zwaartekrachtverstoring er voor gezorgd heeft dat de komeet nu in zijn elliptische baan zit.

b 2 pt

Een komeet valt langzaam uit elkaar als hij te dichtbij de zon komt. Het ijs waar de komeet voor een groot deel uit bestaat sublimeert dan. Dit kan erupties veroorzaken die de lander zouden kunnen verplaatsen/lanceren.

c 6 pt

Om te bepalen wat de maximale snelheid is waarmee een rover rond kan rijden kijken we naar de snelheid waarmee we de rover in een circulaire baan net boven het oppervlak kunnen brengen. Als de rover die snelheid bereikt zal die langdurig van het oppervlak loskomen of helemaal niet meer terug komen op de komeet. De maximale snelheid die de rover kan hebben volgt dus uit het gelijk stellen van de middelpuntzoekende kracht en de zwaartekracht:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GmM}{R^2}, \text{ dus de maximale snelheid is dan} \quad (1)$$
$$v_{max} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

De straal van de komeet, R , volgt uit de gegeven massa en dichtheid:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho}} \quad (2)$$
$$R = 1651\text{m}$$

Dit invullen geeft dan een maximale snelheid van 0,64 m/s. Dus echt door rijden op de komeet zit er niet in.

4 a 4 pt

De hemel beslaat 4π steradianen, oftewel 41253 vierkante graad.

Alma heeft $2000 \times 21 \times 21 = 882000$ vierkante boogseconden bekeken, dit is $882000 / (3600 * 3600) = 0,068$ vierkante graad. Dus Alma heeft $0,068 / 41253 = 1,04 \times 10^{-6}$ ste deel van de hemel bekeken.

b 2 pt

Als je ervan uitgaat dat de objecten die hier gezien zijn uniform verdeeld zijn dan is het aantal objecten dat je vindt: $N_{\text{obs}} \approx N_{\text{obj}} \frac{\Omega_{\text{obs}}}{\Omega_{\text{hemel}}}$ met Ω_x de waargenomen of totale ruimtehoek N_{obj} het aantal objecten en N_{obs} het aantal objecten dat je observeert. Voor niet gehele N wordt het gemiddelde aantal geobserveerde objecten gegeven als je het experiment vele malen zou herhalen met verschillende delen van de hemel. Als er een observatie gedaan is dan zou je kunnen zeggen dat $N_{\text{obs}} = 1$, maar je zou ook kunnen zeggen dat de kans dat je iets ziet groter moet zijn dat de kans dat je niet iets ziet dus $N_{\text{obs}} = 0,5$ en zo zijn er nog een aantal mogelijkheden. Als we met $N_{\text{obs}} = 1$ doorrekenen komen we uit op: $N_{\text{obj}} = 10^6$ objecten.

c 2 pt

Uitgaande van 1 aardmassa ($1M_{\oplus}$) per object heb je dus in totaal $10^6 M_{\oplus}$. Dit is gelijk aan 6×10^{30} kg of 3 zonsmassa's.

d 2 pt

Deze hoeveelheid massa is groter dan de massa van de zon. Zelfs met conservatievere aannames dan hier genomen is de massa in deze objecten veel meer dan de massa van Jupiter. Het effect van de zwaartekracht van al deze objecten samen zou de banen van alle planeten die we kennen zodanig beïnvloeden dat we dat zouden moeten kunnen meten. Sterker nog, gedurende de evolutie van het zonnestelsel zou deze enorme hoeveelheid massa aan de buitenrand ervoor hebben gezorgd dat het zonnestelsel instabiel zou zijn.

5 a 2 pt

Mogelijke antwoorden zijn onder andere:

- Planeten die vanaf de aarde gezien niet voor hun ster langs bewegen.
- Planeten met een lange omlooptijd waardoor er weinig transities zijn.
- Kleine planeten (hierdoor is het contrast laag).
- Planeten rond veranderlijke sterren (onderscheid maken tussen de stervariatiën en de transit is lastig).
- Planeten die samen met hun ster ver van de aarde staan (lastig de ster nauwkeurig genoeg waar te nemen).

b 3 pt

De flux neemt met 1.6% af als de planeet zich voor de ster bevindt, dus de oppervlakteverhouding is 0,016:1. Dit geeft een verhouding van $\sqrt{0,016}:1 = 0,12:1$ voor de straal. De straal van de planeet is dus $0,12 \cdot R_{ster} = 0,145 R_{zon}$.

c 4 pt

De straal van de planeetbaan volgt uit de derde wet van Kepler:

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

$$a = 7,06 \times 10^9 \text{ m}$$

De omtrek van de baan is $2\pi a$ en baansnelheid wordt dus: $2\pi a/P = 1,46 \times 10^5 \text{ m/s}$

d 3 pt

Als de planeet en de ster om elkaar heen draaien dan is op elk moment de impuls ten opzichte van het zwaartepunt gelijk aan nul. Dus $|v_\star| M_\star = |v_p| M_p$, waarbij $|x|$ de absolute waarde van x is. Dit geeft: $M_p = \frac{v_\star M_\star}{v_p} = 1,9 \times 10^{27} \text{ kg} = 0,65 M_{Jupiter}$.

e 2 pt

In het infrarood is de ster minder helder dan in het optisch omdat het oppervlak van een ster zeer heet is en de straling piekt in het optische gedeelte van het spectrum. De planeet is koeler, dus de piek van de emissie van de planeet zit op grotere golflengten. Dit leidt ertoe dat het contrast tussen de planeet en de ster in het infrarood groter is en het dus makkelijker is om de zwakke planeet naast de heldere ster te vinden.

f 3 pt

i) Hoe verder de ster en planeet van ons af staan hoe moeilijker het wordt om ze waar te nemen in zowel het optisch als het infrarood, omdat de hoek tussen de twee dan kleiner is evenals de totale hoeveelheid licht die we opvangen.

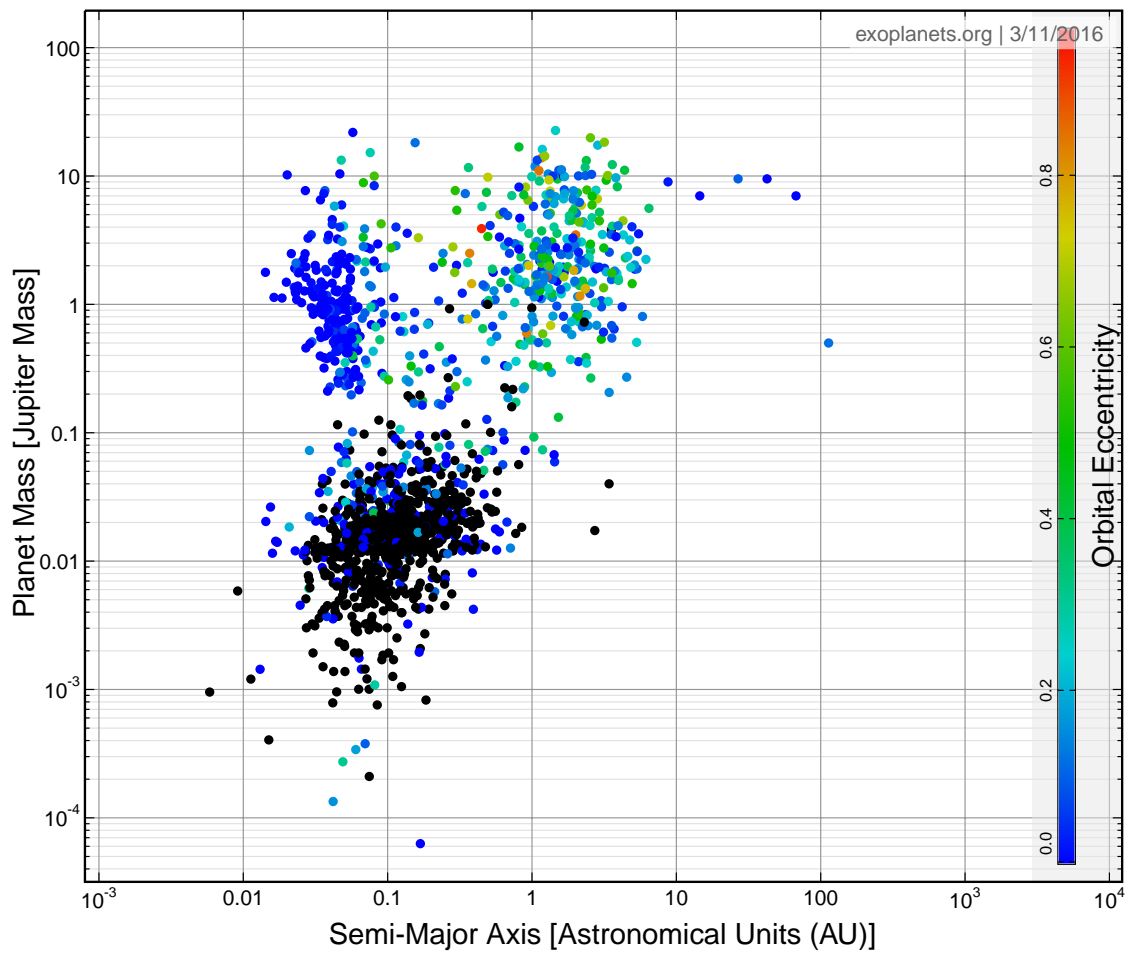
ii) Hoe groter het albedo van de planeet hoe meer licht hij weerkaatst, dus hoe makkelijker het wordt om hem te zien in het optisch. Voor het infrarood is het lastiger: meer infrarood licht weerkaatst maar de eigen productie van infrarood licht van de planeet gaat ook omlaag omdat de planeet minder warmte opvangt. In het geval van een directe vergelijking is de planeet die een laag albedo heeft makkelijker te zien in het infrarood als de planeet relatief dichtbij de ster staat. Als de planeet ver weg staat van de ster is de planeet met een hoger albedo weer makkelijker te zien in het infrarood. (Alle antwoorden met juiste onderbouwing worden goed gerekend.)

g 2 pt

Zie Figuur 1

h 2 pt

Planetten met een korte halve lange as: vooral de lage massa planeten zijn met de transitie methode waargenomen, maar ook een deel van de zwaardere planeten. Planeten met een gemiddelde half lange as (1–10 AU) en een grote massa: een grote massa en grote snelheid van



Figuur 1: Voorbeeld van de planeet verdeling in het exoplaneten archief.

de planeet veroorzaken grotere radiële snelheden voor de ster. Deze planeten zijn dus met de radiële snelheidsmethode waargenomen. Planeten op grote afstand met een hoge massa: een grote massa betekent een groot oppervlak, en de planeet is dus redelijk helder. De grote afstand van de ster maakt het ook makkelijker om de planeet direct waar te nemen.

6 a **Antwoord voor 5 punten:**

De vrije valtijd kan benaderd worden door aan te nemen dat de kracht op het object constant is. Dus

$$F = \frac{GMm}{0.25R^2}, \quad (4)$$

De versnelling is dan ook constant:

$$a = \frac{GM}{0.25R^2}. \quad (5)$$

De totale afstand afgelegd na een tijd t voor een constante versnelling is:

$$x = 0.5at^2 = 2\frac{GM}{R^2}t^2, \quad (6)$$

De tijd oplossen voor $x = R$ geeft dan,

$$R = 2\frac{GM}{R^2}t_{ff}^2, \quad (7)$$

$$t_{ff} = \sqrt{\frac{R^3}{2GM}}$$

Antwoord voor 7 punten:

Er zijn meerdere manieren om de vrije valtijd af te leiden. Deze hangen allemaal af van de manier waarop een object in elkaar sort (van binnen naar buiten, van buiten naar binnen, alles tegelijkertijd). Om de vrije val tijd van deze vraag te bepalen volgen we paragraaf 2.5 van LeBlanc 2010. We beginnen met de energie die een deeltje van massa m heeft, in vrije val van een afstand R (waar het deeltje stil stond) als die zich op een afstand r van een massa M bevindt (hierbij is $r < R$). Deze energie wordt gegeven door het verschil in potentiële energie:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{r} - \frac{GMm}{R} \quad (8)$$

Hierin zien we dat de snelheid inderdaad nul is op $r = R$ waar we beginnen met de vrije val. Omdat we geen fysische schaal hebben gegeven aan de massa M divergeert de snelheid voor $\lim_{r \rightarrow 0}$. Dit is niet fysisch maar de afstandsschalen waar deze simpele aanname niet meer werkt zijn zo klein dat het effect op onze uiteindelijke antwoord verwaarloosbaar is.

Uit de vergelijking voor de energie halen we de snelheid:

$$v = \frac{dr}{dt} = - \left(\sqrt{\frac{2GMm}{r} - \frac{2GMm}{R}} \right), \quad (9)$$

waarbij we gebruikt hebben dat de snelheid voor vrije val negatief moet zijn. Dit is een differentiaal vergelijking voor de straal, maar we willen de differentiaal vergelijking voor de tijd dus we gebruiken de orthogonaliteit van de afgeleiden, d.w.z.: $\frac{dx}{dy} \frac{dy}{dx} = 1$, om te schrijven:

$$\frac{dt}{dr} = - \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{2GM}{r} - \frac{2GM}{R}}} \right). \quad (10)$$

Links en recht integreren van 0 tot R geeft dan:

$$\int_0^R \frac{dt}{dr} dr = - \int_0^R \frac{1}{\sqrt{\frac{2GM}{r} - \frac{2GM}{R}}} dr$$

Gebruik dat op $r = R, t = 0$ en op $r = 0, t = t_{\text{ff}}$.

$$\int_{t_{\text{ff}}}^0 dt = - \int_0^R \frac{1}{\sqrt{\frac{2GM}{r} - \frac{2GM}{R}}} dr \tag{11}$$

$$0 - t_{\text{ff}} = - \int_0^R \frac{1}{\sqrt{\frac{2GM}{r} - \frac{2GM}{R}}} dr$$

$$t_{\text{ff}} = \int_0^R \frac{1}{\sqrt{\frac{2GM}{r} - \frac{2GM}{R}}} dr$$

Gebruik nu de substitutie $x = r/R$ waarbij $dr = Rdx$ en haal alle termen die niet belangrijk zijn uit de integraal:

$$t_{\text{ff}} = \left(\frac{1}{2GM} \right) \int_0^1 \frac{Rdx}{\sqrt{\frac{1}{xR} - \frac{1}{R}}}$$

$$t_{\text{ff}} = \left(\frac{R^3}{2GM} \right) \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{\frac{1}{x} - 1}} \tag{12}$$

$$t_{\text{ff}} = \left(\frac{R^3}{2GM} \right) \int_0^1 \sqrt{\frac{x}{1-x}} dx$$

Deze laatste integraal is een standaard integraal en geeft:

$$t_{\text{ff}} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{R^3}{2GM} \right), \tag{13}$$

Dit is heel veel meer werk voor een klein verschil van een factor 1.5.

b 2 pt

In de kern van de ster wordt de materie dicht genoeg op elkaar geduwd door de zwaartekracht voor kernfusie en dit houdt de kern heet. De energie die opgewerkt wordt gaat naar buiten en omdat de energie zich moet verdelen over een groter volume wordt de temperatuur lager naar mate je verder naar buiten gaat. Deze temperatuurgradiënt zet een drukgradiënt op. Dit drukgradiënt gaat het instorten van de zon tegen.

c 2 pt

Dit is invullen van je antwoord bij vraag a en geeft $t_{ff} = 87\mu\text{s}$ voor de benadering en $t_{ff} = 137\mu\text{s}$ voor de volledige afleiding.

d 3 pt

Een zwaartekrachtgedreven pulsatie gedraagt zich als een harmonische oscillator. Dit wil zeggen dat de frequentie onafhankelijk is van de uitwijking. Een drukgradiënt die de pulsatie of remt of aandrijft (beide zijn mogelijk) zal de resonantiefrequentie van het systeem verlagen, d.w.z. de periode toe laten nemen. Het effect hiervan is (zeker op astronomische schalen) niet groot.

e 3 pt

In dit geval is de pulsatie met 1.4 ms toch echt veel langzamer (minstens een factor 10) dan de vrije valtijd dus het is niet heel logisch. Verder kan er uit het pulsatiepatroon (beter te benaderen met een opeenvolging van pieken dan met een sinus) en het verschil tussen maximum en minimum lichtkracht ook worden afgeleid dat het niet een radiële pulsatie is. Als laatste heb je nog het argument dat neutronensterren van dezelfde massa en straal niet met dezelfde frequentie hoeven te pulseren.

EINDE