

Tentamen Inleiding Astrofysica

17 December 2018, 14.00-17.00

Let op – lees onderstaande goed door!

- Dit tentamen omvat 5 opdrachten, die maximaal 100 punten opleveren. De eerste opdracht bestaat uit tien individuele kennisvragen. Deze vragen moeten **kort** beantwoord worden. Laat bij de andere opdrachten zien hoe je aan je antwoorden komt.
 - Opdracht 1: 30 punten
 - Opdracht 2: 14 punten
 - Opdracht 3: 16 punten
 - Opdracht 4: 25 punten
 - Opdracht 5: 15 punten
- Maak iedere opdracht op een **apart blad**, omdat opgaven ieder apart worden nagekeken.
- Schrijf op ieder blad je **naam en studentnummer**. Leg je **studentkaart** op tafel.
- Alleen het gebruik van een **reguliere rekenmachine** is toegestaan (geen grafische rekenmachine)
- **Alle telefoons moeten uit staan**, in je tas/jas zitten, en mogen tijdens het tentamen niet tevoorschijn worden gehaald.
- Op de volgende pagina vind je een lijst met **natuurconstanten** die mogelijk gebruikt moeten worden. Ook is bijgevoegd een lijst van **formules**.
- Schrijf duidelijk en werk overzichtelijk. Kladdpapier wordt niet nagekeken.
- Bij constatering van **fraude** wordt verdere deelname aan het tentamen uitgesloten. Dit zal tevens aan de examencommissie worden doorgegeven, wat kan resulteren in uitsluiting van verdere deelname aan de studie.

Veel succes!

Overzicht van (afgeronde) constanten in SI eenheden zoals die voor het tentamen gebruikt mogen worden.

Natuurkundige constanten

Zwaartekrachtsconstante	G	=	$6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Lichtsnelheid in vacuüm	c	=	$2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Constante van Stefan-Boltzmann	σ	=	$5.670 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Constante van Planck	h	=	$6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Constante van Boltzmann	k	=	$1.381 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Atomaire massa-eenheid	m_0	=	$1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa van het proton	m_p	=	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa van het elektron	m_e	=	$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Lading van het elektron	e	=	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Dielektrische constante	ϵ_0	=	$8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$
Thomson werkzame doorsnede	σ_e	=	$6.652 \times 10^{-29} \text{ m}^2$
Gasconstante	R	=	$8.314 \times 10^3 \text{ JK}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$
Getal van Avogadro	N_A	=	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Sterrenkundige constanten

Parsec	pc	=	$3.086 \times 10^{16} \text{ m}$
Astronomische eenheid	AE	=	$1.496 \times 10^{11} \text{ m}$
Massa van de Zon	M_{\odot}	=	$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Lichtkracht van de Zon	L_{\odot}	=	$3.839 \times 10^{26} \text{ W}$
Effectieve temperatuur van de Zon	T_{\odot}	=	5778K
Straal van de Zon	R_{\odot}	=	$6.995 \times 10^8 \text{ m}$
Massa van de Aarde	M_{\oplus}	=	$5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$
Absolute B-band magnitude v.d. Zon	$M_{B\odot}$	=	5.48
Schijnbare visuele magnitude van de Zon	m_V	=	-26.75
Hubble constante	H_0	=	70 km/s/Mpc

Formules

$$\lambda_{obs} = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

$$E = h\nu$$

$$d = \frac{1}{\pi}$$

$$h = 90^\circ - |b - \delta|$$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left(\frac{F_1}{F_2} \right)$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 91.16 \text{ nm} \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]^{-1}$$

$$GST = (UT - 12) + 24N / 365$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx 3 \times 10^{-7} \mu^{-1/2} \sqrt{\frac{T}{1\text{K}}}$$

$$\lambda_{\max} = 0.002898 / T_{\text{eff}} [m]$$

$$I(x) = I_0 e^{-n\sigma x} \equiv I_0 e^{-\tau(x)}$$

$$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$$

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{M+m}$$

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

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

$$I_\nu(T) \approx \frac{2kT}{c^2} \nu^2$$

$$E = mc^2$$

$$M = m + 5 - 5 \log_{10} d$$

$$F(\nu) d\nu = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \nu^2 \exp\left(-\frac{m\nu^2}{2kT}\right) d\nu$$

$$\frac{n_2}{n_1} \propto \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

$$\mu = \frac{v_t}{d}$$

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$R_{\text{Jeans}} \propto \sqrt{\frac{kT}{G\mu\rho}}$$

$$V_{\text{rot}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$E = \frac{3}{2} kT$$

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} \approx \frac{v}{c}$$

$$T_c \approx \frac{2GM\mu m_p}{Rk}$$

$$F_{\text{bol}} = \int_0^\infty d\lambda F(\lambda)$$

$$I_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$I_\nu(T) \propto \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

$$I_{\text{tot}} = \sigma T^4$$

$$W_p = \left(\frac{L}{4\pi r^2} \right) \left[\pi R_p^2 \right] (1 - A)$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{M_p}{M_s}$$

Opdracht 1 (maak deze op een apart blad)

Hieronder vind je 10 kennisvragen die je kort moet beantwoorden. Elk goed antwoord levert 3 punten op.

- a) Hoe herken je een spectraal lijn die veroorzaakt wordt door een verboden overgang?
- b) Wat is adaptieve optiek?
- c) Waarom is de rand van de zonneschijf donkerder en minder helder?
- d) Welke drie lagen onderscheiden we in de atmosfeer van de Zon?
- e) Welke ster heeft de grootste lichtkracht: G2II of G2V?
- f) Teken een Hertzsprung-Russel diagram en laat zien wat er op de assen staat; schets de hoofdreeks, de positie van rode reuzen en witte dwergen
- g) Wat is een witte dwerg en waardoor wordt de interne druk veroorzaakt?
- h) Maak een schets van het zijaanzicht van de Melkweg en benoem de verschillende *zichtbare* componenten; markeer ook de positie van de Zon.
- i) Wat is de bron van energie in actieve melkwegstelsels?
- j) Waarom denken we dat melkwegstelsels vooral uit donkere materie bestaan?

Opdracht 2 (maak deze op een apart blad)

Tijdens het verblijf op de hoofdreeks fuseert de Zon waterstof in helium door middel van de proton-proton cyclus, waarbij 0,7% van de massa wordt omgezet in energie. Deze periode duurt voor de Zon 10 miljard jaar. Neem aan dat 70% van de massa van de Zon uit waterstof bestaat en dat de lichtkracht van de Zon op de hoofdreeks constant is.

- a) [4 punten] Bereken de fractie van waterstof atomen die na 10 miljard jaar is gefuseerd.
- b) [4 punten] Bij het triple alfa-proces wordt maar 0.07% van de massa omgezet in energie. Als de Zon tijdens dit proces 10x meer energie uitstraalt dan op de hoofdreeks, hoe lang duurt het dan voordat alle Helium in haar kern is opgebrand?
- c) [3 punten] In werkelijkheid neemt de lichtkracht van de Zon toe tijdens het verblijf op de hoofdreeks. Waarom is dat?
- d) [3 punten] De ster Fomalhaut, met spectraaltipe A3V, heeft een massa van $1,9 M_{\odot}$ en een lichtkracht $17 L_{\odot}$. Hoe lang blijft deze op de hoofdreeks, als we aannemen dat de lichtkracht constant is en dat de ster eenzelfde fractie waterstof kan fuseren als de Zon?

Opdracht 3 (maak deze op een apart blad)

De Zon draait met een snelheid van 220 km/s om het centrum van de Melkweg. Met VLBI is te meten dat het centrum (Sgr A) met een hoeksnelheid van 6 milli-boogseconde per jaar beweegt ten opzichte van ver weg gelegen melkwegstelsels.

- a) [4 punten] Hoe ver staat de Zon van het centrum van de Melkweg?
- b) [4 punten] Hoeveel massa (in zonsmassa's) bevindt zich in de Melkweg binnen de baan van de Zon? Gebruik een afstand van 8kpc als je vraag a) niet hebt beantwoord.

We nemen een ster waar in een cirkelbaan rond het zwarte gat in het centrum van de Melkweg. De baan van de ster heeft een periode van 10 jaar en een straal 0,1 boogseconden.

- c) [4 punten] Wat is de massa van het zwarte gat?
- d) [4 punten] Hoe vergelijkt de straal van de baan van de ster met de Schwarzschildstraal van het zwarte gat? Gebruik een massa van $5 \times 10^6 M_{\odot}$ als je vraag c) niet hebt beantwoord.

Opdracht 4 (maak deze op een apart blad)

Beschouw een eclipsveranderlijke met een parallax van 0,007 boogseconden. De oppervlaktetemperatuur van een van de sterren is 10.000K en die van de andere is 5.000K. De heetste ster heeft een straal 1.6×10^9 m, terwijl de straal van de koelere ster 10x groter is. De twee sterren staan op een onderlinge afstand van 5 AE en bewegen in cirkelbanen om hun gezamenlijke massa middelpunt.

- a) [5 punten] Hoe groot moet de diameter van een ruimtetelescoop zijn om deze sterren afzonderlijk waar te nemen op een golflengte van 550nm?
- b) [5 punten] De heetste ster heeft een schijnbare magnitude van $m_V = +5.77$. Wat is de lichtkracht van deze ster in de V-band vergeleken met de lichtkracht van de Zon in hetzelfde filter?
- c) [4 punten] Wat is de verhouding tussen de lichtkracht van de hetere ster en die van de koelere ster?
- d) [4 punten] Welke ster wordt bedekt tijdens de primaire eclips? Is deze eclips totaal? Gebruik een verhouding $L_{\text{heet}}/L_{\text{koel}} = 0.25$ als je vraag c) niet hebt beantwoord.
- e) [4 punten] Wat is het verschil in magnitude tussen de primaire en secundaire eclips? Als je vraag d) niet hebt beantwoord, neem dan $L_{\text{primair}} = 0.8L_{\text{tot}}$ en $L_{\text{secundair}} = 0.95L_{\text{tot}}$, waar L_{tot} de gecombineerde lichtkracht is.
- f) [3 punten] Welke van de twee sterren heeft de grootste massa? Motiveer je antwoord.

Opdracht 5 (maak deze op een apart blad)

Waarnemingen van een ster die *identiek* aan de Zon is, laten zien dat deze elke 5 dagen wordt bedekt door een exoplaneet die in een cirkelbaan op een afstand van 0.055 AE rond de ster beweegt. Tijdens de overgang neemt de flux met 0,5% af. Bovendien varieert de radiële snelheid van de ster met een amplitude van 100 m/s.

- a) [4 punten] Wat is de straal van de planeet (in Jupiterstralen – $R_{\text{Jup}}=70\,000\text{ km}$)?
- b) [4 punten] Wat is de massa van de planeet (in $M_{\text{Jup}}=1.9\times 10^{27}\text{ kg}$)?
- c) [4 punten] Wat is de evenwichtstemperatuur van de planeet, als we aannemen dat deze 90% van het sterlicht absorbeert? Motiveer je aannames.
- d) [3 punten] Wat verandert er aan de waarnemingen van de sterbedekkingen als de ster 3 miljard jaar ouder is?

- Einde -