

# Tentamen Inleiding Astrofysica

19 December 2017, 10.00-13.00

## 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: 12 punten
  - Opdracht 4: 23 punten
  - Opdracht 5: 21 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. Klappapier 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	$\sigma$	=	$5.670 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
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	$\epsilon_0$	=	$8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$
Thomson werkzame doorsnede	$\sigma_e$	=	$6.652 \times 10^{-29} \text{ m}^2$
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	$T_{\odot}$	=	5778 K
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

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

$$E = hv$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E = mc^2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 24N / 365$$

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

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

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

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

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

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

## 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) Benoem de twee coördinaten, referentievlak en nulpunt voor het hoogte-azimut en equatoriaal coördinatensysteem.
- b) Hoe herken je een spectraal lijn die veroorzaakt wordt door een verboden overgang?
- c) Waarom is de rand van de zonneschijf donkerder en minder helder?
- d) Noem twee redenen waarom astronomen steeds grotere telescopen willen bouwen.
- e) Welke drie lagen onderscheiden we in de atmosfeer van de Zon?
- f) Zet in de juiste volgorde van hete naar koele sterren; A,G,M,O,K,F,B
- g) 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
- h) Wat is een planetaire nevel en waardoor wordt deze veroorzaakt?
- i) Wat is de bron van energie in actieve melkwegstelsels?
- j) Hoe liet Hubble zien dat de Andromedanevel een sterrenstelsel is zoals de Melkweg?

## Opdracht 2 (maak deze op een apart blad)

- a) [4 punten] Een ster heeft een schijnbare magnitude van 4.4 en heeft een parallax van 0.007". Wat is de afstandsmodulus van deze ster?
- b) [5 punten] Deze ster is onderdeel van een groepje van drie identieke sterren die om elkaar heen draaien. Wat is de schijnbare magnitude van dit systeem als we de afzonderlijke sterren niet kunnen oplossen?
- c) [5 punten] De drie sterren staan op een onderlinge afstand van 10 AE. Hoe groot moet de diameter van een ruimtetelescoop zijn om deze sterren afzonderlijk waar te nemen op een golflengte van 550nm?

### Opdracht 3 (maak deze op een apart blad)

NGC3198 is een melkwegstel op een afstand van 14,5 Mpc, met lichtkracht in de B-band van  $10^{10} L_{B,\odot}$ . Op een straal van 30 kpc van het centrum, ver buiten de stellaire schijf, nemen we neutraal waterstof gas waar dat een rotatiesnelheid van 150 km/s heeft.

- a) [4 punten] Wat is de roodverschuiving van NGC3198?
- b) [4 punten] Bereken de massa binnen een straal van 30 kpc.
- c) [4 punten] Wat is er vreemd aan de verhouding tussen massa en lichtkracht op een straal van 30 kpc?

### Opdracht 4 (maak deze op een apart blad)

Tijdens het verblijf op de hoofdreeks fuseert de Zon waterstof in helium. Deze periode duurt voor de Zon 10 miljard jaar. Een ster heeft een lichtkracht  $25L_{\odot}$  en een massa van  $2M_{\odot}$  en effectieve temperatuur 9900K.

- a) [4 punten] Hoe lang blijft deze ster op de hoofdreeks, als we aannemen dat de lichtkracht constant is en dat de ster eenzelfde fractie waterstof kan verbranden als de Zon?
- b) [4 punten] De ster heeft een begeleider met het spectrum van een zwartlichaamstraler dat piekt op een golflengte van 120nm. Wat is de temperatuur van de begeleider?
- c) [5 punten] De periode van dit dubbelster systeem is 18 dagen en de afstand tussen de twee sterren is 0,2 AE. Wat is de massa van de begeleider?
- d) [4 punten] De lichtkracht van de begeleider is slechts  $0.02L_{\odot}$ . Wat is de straal van de begeleider? Wat voor object is dit?
- e) [3 punten] Het baanvlak van de begeleider ligt in onze gezichtslijn en de sterren bedekken elkaar daarom periodiek. Schets het verloop van de flux als functie van tijd; geef hierbij aan welke ster wordt bedekt.
- f) [3 punten] Wat zal er in de toekomst met de begeleider gebeuren? Motiveer je antwoord.

## Opdracht 5 (maak deze op een apart blad)

De G8V ster 55 Cancri heeft een massa van  $M=0.95M_{\odot}$ , een straal  $R=1.15R_{\odot}$  en effectieve temperatuur  $T=5373K$ .

- a) [3 punten] Hoe vergelijkt de leeftijd van 55 Cancri met de leeftijd van de Zon? Motiveer je antwoord.

Rond deze ster zijn een aantal exoplaneten ontdekt. Omdat het baanvlak in onze gezichtslinje ligt, kunnen we dankzij de sterbedekkingen de massa en grootte van de planeten bepalen. Een van de exoplaneten beweegt in een cirkelbaan met een straal  $a=0.0159$  AE en periode van 18 uur.

- b) [4 punten] Wat is de baansnelheid van de exoplaneet?
- c) [4 punten] De exoplaneet wordt ook gedetecteerd dankzij variaties in de radiële snelheid van de ster met een amplitude van 6.1 m/s. Wat is de massa van de planeet (in eenheden van de massa van de Aarde)?
- d) [4 punten] De albedo van de exoplaneet is 0,4. Als we aannemen dat de geabsorbeerde energie van 55 Cancri over het hele planeetoppervlak wordt verspreid, en weer wordt uitgestraald als een zwartlichaamstraler, wat is dan de evenwichtstemperatuur?
- e) [3 punten] Wat is de rotatieperiode van de exoplaneet om haar eigen as? Motiveer je antwoord.
- f) [3 punten] Rotsachtig materiaal smelt bij temperaturen boven de 1500K. Hoe denk je dat het oppervlak van de exoplaneet eruit ziet? Motiveer je beschrijving.

- Einde -