

Tentamen Sterren - Dinsdag 17 mei 2016

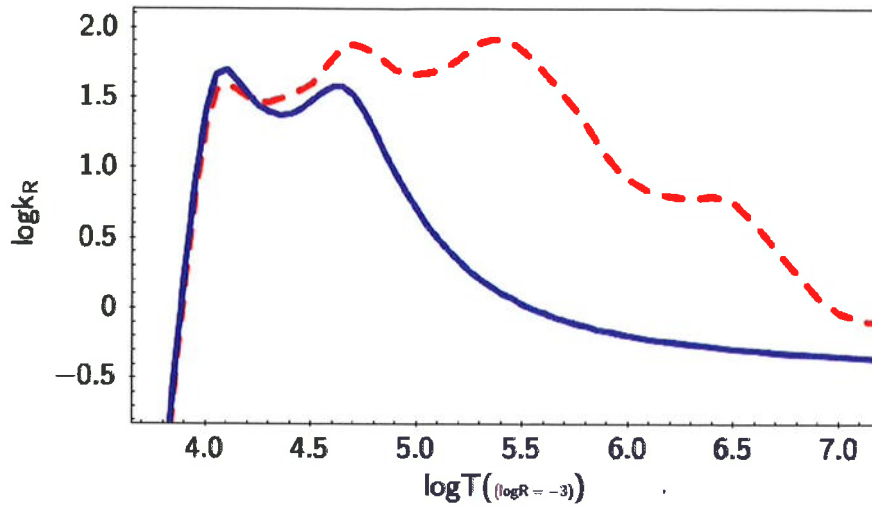
Welkom bij het tentamen van Sterren 2016.

Je hebt drie uur om dit tentamen te maken. Gebruik van een rekenmachine en de (uitgedeelde) cheat sheet is toegestaan. Wees nauwkeurig en volledig in je antwoorden en let op significante cijfers en eenheden. Er zijn 24 vragen. Behalve als dit expliciet is aangegeven zijn alle vragen 1 punt waard. In totaal zijn er 30 punten te behalen.

Veel succes!

1. Gegeven zijn twee sterren met gelijke straal en verschillende bolometrische lichtkrachten. Ster 1 heeft een lichtkracht $L = 1.2L_{\odot}$; ster 2 heeft $L = 90L_{\odot}$. Wat is de verhouding in *effectieve* temperaturen van de sterren $T_{eff,1}:T_{eff,2}$?
2. Leid de Jeansmassa gegeven een Jeans straal R_J (zie cheat sheet). Wat is de fysische interpretatie van deze massa?
3. Geef naast thermische druk nog een mogelijke bron van druk in een ster. Is deze bron van druk belangrijker voor massieve of voor lichte sterren? Leg uit waarom.
4. Beschrijf een bound-bound en een bound-free transitie die kunnen plaatsvinden in een waterstof-plasma.
5. De bovenlagen van de zon zijn convectief. Leg uit wat de oorzaak is van de convectie die we zien in dit gebied.
6. Sterspectra hebben een groot aantal absorptielijnen die overeenkomen met overgangen van de aanwezige atomen en ionen. Hoe komt het dat we deze lijnen zien in absorptie en niet in emissie?
7. (2 punten) Fig. 1 laat de Rosseland mean opacity zien versus de temperatuur voor een gas met $\log R = \log \frac{\rho}{T^3} = -3$. De twee modellen hebben verschillende metalliciteiten. a) Wat is de fysische betekenis van de Rosseland mean opacity, en hoe is deze gedefinieerd? b) Welke lijn is voor de hoogste metalliciteit en waarom?
8. Een zeer hete ster ioniseert omliggend gas zodat er licht in emissie-lijnen uitgezonden wordt. Een zo'n theoretisch object heeft wel een sterke HeII (Helium) emissie-lijn, maar geen CIV (koolstof) emissie-lijn, terwijl ze nagenoeg dezelfde ionisatietemperatuur (en dus energie, ~ 50 eV) hebben. Wat kan je hier uit concluderen over het gas rond de ster? Is dit een PopI, PopII of PopIII ster?
9. De zwakste bekende sterren hebben een absolute magnitude van 14. Een object heeft een waargenomen magnitude van 29. Dit is waarschijnlijk een zeer ver sterrenstelsel. Echter, hierover zijn twijfels. a) Kan dit object een M dwerg in de thick disk van de melkweg zijn? b) Tot op welke waargenomen magnitude kunnen we dit soort sterren in de thick disk verwachten? De thick disk van de Melkweg strekt tot 5 kpc afstand van het centrum van de melkweg.
10. Massieve protosterren evolueren veel sneller naar de hoofdreeks toe dan lichtere protosterren. Verklaar dit aan de hand van de tijdschalen die deze evolutie beschrijven.
11. Leg uit waarom Class I-Young stellar objects (YSO)s gekarakteriseerd worden door een positieve helling (dat wil zeggen: de flux density is hoger op bijv. $10\text{-}25 \mu m$ dan op $2.2 \mu m$) in het infrarode deel van hun Spectral Energy Distribution (SED) terwijl die bij Class III-YSOs negatief is.

12. (2 punten) Kernfusie produceert steeds zwaardere elementen. Is er een grens aan de kernmassa van elementen die in een ster kunnen worden geproduceerd? Waarom bestaat deze grens? Hoe komt het dat er op aarde en in de ruimte alsnog zwaardere elementen bestaan?
13. De effectieve temperatuur van een B2 main-sequence ster is ongeveer 20000 K. De effectieve temperatuur van een B2 helderheidsklasse I ster met hetzelfde spectraaltipe is echter 4000 K hoger (de sterren hebben dezelfde relatieve intensiteiten van absorptielijnen van verschillende ionen van hetzelfde element). Verklaar hoe het komt dat de temperatuur hoger is, terwijl de relative intensiteiten van absorptielijnen onveranderd zijn.
14. Noem een manier waarop het in theorie mogelijk is een supernova (daarmee bedoelen we de optische detectie) te voorspelen.
15. De kern van een ster die waterstof fuseert in de CNO-cyclus is convectief. Gebruik Fig 2. en leg uit waarom de kern van zo'n ster eerder convectief is dan die van een ster die fuseert via de PPI-cyclus, ook al is de opaciteit hetzelfde.
16. (2 punten) Polytropen zijn nuttig bij het oplossen van sterstructuurvergelijkingen. Laat zien dat de Lane-Emden vergelijking voor $n = 0$ de volgende fysische oplossing geldt: $\theta(\xi) = 1 - \frac{\xi^2}{6}$. Gebruik de volgende vorm van de Lane-Emden vergelijking: $\frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} (\xi^2 \frac{d\theta}{d\xi}) + \theta^n = 0$ en beargumenteer welke grensvoorwaarden je mag gebruiken. Tip: gebruik hiervoor de definitie $\rho(r) = \rho_c \theta^n(r)$.
17. (2 punten) Beschrijf hoe P afhangt van ρ en T in een volledig convectieve ster (neem aan dat de ster bestaat uit een ideaal gas met constante samenstelling).
18. Spectra van een M-sterren vertonen weinig H-lijnen. Verklaar dit.
19. Een protoster ligt ingebed in een wolk interstellair stof. De ster heeft een temperatuur $T_* > T_{wolk}$ en straalt als een blackbody. De atomen in de omliggende wolk absorberen licht in een smalle lijn op frequentie ν_0 , maar zijn transparant op de (naastgelegen) frequentie ν_1 . Neem aan dat $B(\nu_0) = B(\nu_1)$. Als we vanaf de aarde langs een line-of-sight naar de protoster kijken, is de intensiteit dan groter op frequentie ν_0 of ν_1 ? En waarom?
20. (2 punten) Tijdens de fusie van waterstof naar Helium neemt het gemiddelde molecuulgewicht μ in de kern toe. Gegeven is dat de kern kan worden beschreven als een ideaal gas. Beschrijf wat het effect van het toenemende molecuulgewicht in de kern is op de lichtkracht van de ster. Gebruik hierbij het viriaal theorema.
21. (2 punten) Sterren die zwaar genoeg zijn om met de CNO-cyclus te fuseren, worden op het eind van hun leven volledig convectief. Leg uit hoe we dit in het spectrum van een ster in dit stadium kunnen zien. Wat betekent dit voor de oorsprong van zware elementen in de atmosfeer van main-sequence sterren en brown dwarfs?
22. Verwacht je een B-ster aan te treffen in een globular cluster (bolhoop)? Leg uit waarom.
23. Stervorming: Welke fase-overgang zorgt ervoor dat de first hydrostatic core ineenstort tot een 'echte' protoster? Leg uit waar deze faseovergang door veroorzaakt wordt.
24. Twee sterren hebben dezelfde effectieve temperatuur en dezelfde waterstoffractie X . Ster 1 is een witte dwerg met hoge oppervlaktezwaartekracht g , ster 2 is een blauwe reus (spectraaltipe B7III). In de atmosfeer van welke ster is de verhouding HII/HI het hoogst, en waarom?



Figuur 1: Rosseland mean opacity vs temperatuur.

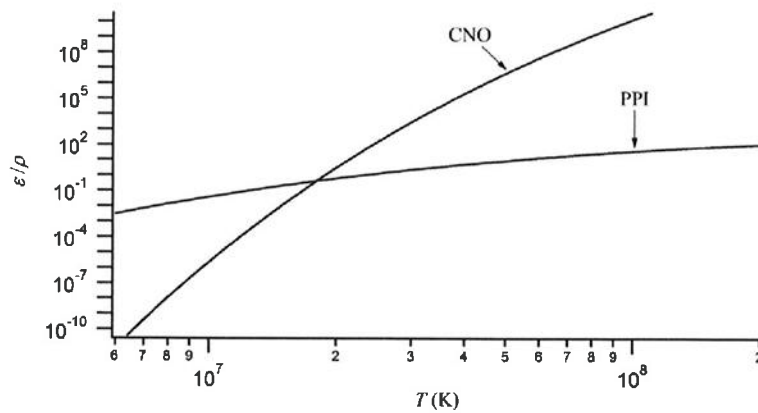


Figure 6.7 The temperature dependence of the nuclear energy production rate per unit mass (ϵ) for the PPI chain and the CNO cycles.

Figuur 2: Energieproductie in de PPI-keten en CNO-cyclus als functie van de temperatuur.

Cheatsheet tentamen 17 mei 2016

Saha vergelijking:

$$\frac{n_{i+1}}{n_i} = \frac{1}{n_e} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{3/2} \frac{2U_{i+1}}{U_i} \exp\left(\frac{-E_{ion}}{kT}\right) \quad (1)$$

Boltzmann vergelijking:

$$\frac{n_j}{n_{ion}} = \frac{g_j}{U_{ion}} \exp\left(\frac{-E_j}{kT}\right) \quad (2)$$

Planck functie:

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad (3)$$

Jeans straal:

$$R_J = \left(\frac{15kT}{4\pi G \mu \rho m_H} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Stralingstransport:

$$u \frac{dI_\nu}{d\tau_\nu} = I_\nu - S_\nu \quad (5)$$

Ster structuur vergelijkingen:

$$\frac{dP(r)}{dr} = \frac{-\rho(r)GM(r)}{r^2} \quad (6)$$

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r) \quad (7)$$

$$\frac{dT(r)}{dr} = \frac{3k_R \rho(r)L(r)}{64\pi r^2 \sigma T^3} \quad (8)$$

$$\frac{dL(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r) \epsilon(r) \quad (9)$$

Schwarzschild criterium:

$$\frac{3k_r}{64\pi r^2 g} \frac{PL(r)}{\sigma T^4} > \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \quad (10)$$

Lane-Emden vergelijking:

$$\frac{d^2\Theta(\xi)}{d\xi^2} + \frac{2}{\xi} \frac{d\Theta(\xi)}{d\xi} + \Theta^n(\xi) = 0 \quad (11)$$

Chandrasekhar massa: $1.43 M_\odot$

Speed of light	c	$2.99793458 \times 10^{10}$ cm/s
Gravitational constant	G	6.67259×10^{-8} cm ³ /g/ s ²
Planck constant	h	$6.6260755 \times 10^{-27}$ erg s
Boltzmann constant	k	1.380658×10^{-16} erg/K 8.617385×10^{-5} eV/K
Elementary charge	e	$4.8032068 \times 10^{-10}$ esu
Atomic mass unit	u	1.660540×10^{-24} g 931.5 MeV/ c^2
Mass of electron	m_e	$9.1093897 \times 10^{-28}$ g 0.511 MeV/ c^2
Mass of proton	m_p	$1.6726231 \times 10^{-24}$ g 938.3 MeV/ c^2
Mass of neutron	m_n	$1.6749286 \times 10^{-24}$ g 939.6 MeV/ c^2
Mass of ¹ H atom	m_H	$1.6735344 \times 10^{-24}$ g
Stefan–Boltzmann constant	σ	5.67051×10^{-5} erg/cm ² /K/s
Thomson scattering constant	σ_T	6.6524×10^{-25} cm ²

Solar mass	M_\odot	1.9891×10^{33} g
Solar radius	R_\odot	6.95508×10^{10} cm
Solar luminosity	L_\odot	3.8458×10^{33} erg/s
Solar effective temperature	$T_{\text{eff } \odot}$	5777 K
Earth's mass	M_\oplus	5.9742×10^{27} g
Earth's radius	R_\oplus	6.378136×10^8 cm
Astronomical unit	AU	$1.4959787066 \times 10^{13}$ cm
Light-year	ly	$9.460730472 \times 10^{17}$ cm
Parsec	pc	3.0856776×10^{18} cm 3.26167 ly
