

## UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Avsluttende eksamen i AST2000, 5. desember 2023, 15.00 – 19.00

Oppgavesettet inkludert formelsamling er på 5 sider

Tillatte hjelpemidler: 1) Angel/Øgrim og Lian: Fysiske størrelser og enheter 2) Rottman: Matematisk formelsamling 3) Elektronisk kalkulator av godkjent type

Konstanter og formelsamling for kurset finner du bakerst

Merk: Figurene til oppgavene er ofte på en annen side enn selve oppgaven

Vær nøye med å forklare formlene du bruker: når du bruker formler fra formelsamlingen, forklar veldig kort hvorfor du bruker denne formelen og nevnt hva symbolene i formelen står for. Selv om svaret er riktig, gies det ikke poeng på en oppgave hvis man ikke viser at man har forstått fysikken bak (dette gjelder spesielt oppgaver hvor svaret er oppgitt). Hvis du bruker formler som ikke er oppgitt og som ikke er grunnleggende fysiske formler (dette skulle ikke være nødvendig) så må formlene vises.

Oppgave 1 og oppgave 2 teller hver 50% av evalueringen. Deloppgavene innen hver av disse to oppgavene teller likt innenfor den gitte oppgaven. (10 deloppgaver for oppgave 1, 5 deloppgaver for oppgave 2)

*Spørsmålene kan besvares på enten bokmål, nynorsk eller engelsk. You may answer these questions in either Norwegian or English.*

## **Oppgave 1: Kortsvarsoppgaver (10 deloppgaver).**

I disse oppgavene får du **kun poeng på at begrunnelsen viser at du forstår resonnerementet. Selve svaret gir ingen poeng selv om det er riktig.**

## **Oppgave 2 (5 deloppgaver)**

**Oppgave 2.1**

**Oppgave 2.2**

**Oppgave 2.3**

**Oppgave 2.4**

**Oppgave 2.5**

Konstanter og uttrykk som kan være nyttige:

Lyshastigheten:  $c = 3.00 \times 10^8$  m/s  
Plancks konstant:  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  J s  
Gravitasjonskonstanten:  $G = 6.673 \times 10^{-11}$  N m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>  
Boltzmanns konstant:  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K  
Stefan Boltzmann konstant:  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.  
Elektronets hvilemasse:  $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$  kg  
Protonets hvilemasse:  $m_p = 1.6726 \times 10^{-27}$  kg  
Nøytronets hvilemasse:  $m_n = 1.6749 \times 10^{-27}$  kg  
Wiens forskyvningslov:  $\lambda_{\max} T = 0.0029$  m K  
1 eV (elektronvolt) =  $1.60 \times 10^{-19}$  J  
Massen til jorda:  $M_j = 5.97 \times 10^{24}$  kg  
Radien til jorda:  $R_j = 6378 \times 10^3$  m  
Solmassen:  $M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$  kg  
Solradien:  $R_{\odot} = 6.98 \times 10^8$  m.  
Solas tilsynelatende magnitudo:  $m = -26.7$   
Solas absolutte magnitudo:  $M = 4.83$   
Solas luminositet:  $L_{\odot} = 3.827 \times 10^{26}$  W  
Solas forventede levetid:  $t_{\text{life}} = 10^{10}$  år  
Massen til Jupiter:  $1.9 \times 10^{27}$  kg  
Temperaturen på solens overflate: 5780 K  
Astronomisk enhet: 1AU =  $1.5 \times 10^{11}$  m  
Hubblekonstanten:  $H_0 = 71$  km/s/Mpc  
lysår: 1 ly =  $9.47 \times 10^{15}$  m  
parsec: 1 pc = 206 265 AU = 3.27 ly

Formler vi har brukt/utledet i kurset:

**stråling/magnituder/avstander:**

$$\begin{aligned}
 B(\nu) &= \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1} & I(\nu) &= \frac{dE}{\cos\theta d\Omega dA dt d\nu} \\
 L &= \frac{dE}{dt} & F &= \frac{dE}{dAdt} \\
 F &= \sigma T^4 & v &= H_0 d_p \\
 m_1 - m_2 &= -2.5 \log_{10} \left( \frac{F_1}{F_2} \right) & m - M &= 5 \log_{10} \left( \frac{d}{10 \text{pc}} \right) \\
 M_V &= -2.81 \log_{10} P_d - 1.43 & \lambda_{\max} T &= 0.0029 \text{ m K}
 \end{aligned}$$

**spesiell relativitetsteori:**

$$\begin{aligned}
 \Delta s^2 &= \Delta t^2 - \Delta x^2 & \frac{\Delta \lambda}{\lambda} &= \left( \sqrt{\frac{1+v}{1-v}} - 1 \right) & V_\mu &= \gamma(1, \vec{v}) & m^2 &= E^2 - p^2 \\
 c_{\mu\nu} &= \begin{pmatrix} \gamma_{\text{rel}} & -v_{\text{rel}}\gamma_{\text{rel}} & 0 & 0 \\ -v_{\text{rel}}\gamma_{\text{rel}} & \gamma_{\text{rel}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

**stjerneutvikling, begynnelsen/hovedserien:**

$$\begin{aligned}
 \langle E_K \rangle &= \frac{3}{2} kT & N &= \frac{M}{\mu m_H} & M_J &= \left( \frac{5kT}{G\mu m_H} \right)^{3/2} \left( \frac{3}{4\pi\rho} \right)^{1/2} \\
 \rho(r) \frac{d^2 r}{dt^2} &= -\rho(r)g(r) - \frac{dP(r)}{dr} & P &= \frac{\rho kT}{\mu m_H} & P_r &= \frac{1}{3} aT^4 \\
 \rho_r &= aT^4 & \langle K \rangle &= -\frac{1}{2} \langle U \rangle
 \end{aligned}$$

**generell relativitetsteori:**

$$\begin{aligned}
 \Delta s^2 &= \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \Delta t^2 - \frac{\Delta r^2}{1 - \frac{2M}{r}} - r^2 \Delta \phi^2 & \frac{M_m}{M_{\text{kg}}} &= \frac{G}{c^2} \\
 \Delta t_{\text{shell}} &= \sqrt{1 - \frac{2M}{r}} \Delta t & \Delta r_{\text{shell}} &= \frac{\Delta r}{\sqrt{1 - \frac{2M}{r}}} \\
 \frac{E}{m} &= \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \frac{dt}{d\tau} & \frac{L}{m} &= r^2 \frac{d\phi}{d\tau} \\
 \Delta t &= \frac{E/m}{\left(1 - \frac{2M}{r}\right)} \Delta \tau & \Delta \phi &= \frac{L/m}{r^2} \Delta \tau \\
 \Delta r &= \pm \sqrt{\left(\frac{E}{m}\right)^2 - \left[1 + \left(\frac{L/m}{r}\right)^2\right] \left(1 - \frac{2M}{r}\right)} \Delta \tau & V_{\text{eff}}(r) &= \frac{1}{2} \frac{(L/m)^2}{r^2} - \frac{M}{r} \\
 V_{\text{eff}}(r) &= \sqrt{\left(1 - \frac{2M}{r}\right) \left[1 + \frac{(L/m)^2}{r^2}\right]} & \Delta r &= \pm \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \frac{(L/E)^2}{r^2}} \Delta t \\
 r \Delta \phi &= \pm \frac{L/E}{r} \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \Delta t & b &= \frac{L}{p} \\
 V_{\text{eff}} &= \frac{1}{r} \sqrt{1 - \frac{2M}{r}} & b_{\text{crit}} &= 3\sqrt{3}M
 \end{aligned}$$

**kjernereaksjoner:**

$$\begin{aligned}
 U &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_A Z_B e^2}{r} & \epsilon_{AB} &= \epsilon_0 X_A X_B \rho^\alpha T^\beta \\
 \epsilon_{pp} &\approx \epsilon_{0,pp} X_H^2 \rho T_6^4 & \epsilon_{0,pp} &= 1.08 \times 10^{-12} \text{ Wm}^3/\text{kg}^2 \\
 \epsilon_{CNO} &= \epsilon_{0,CNO} X_H X_{CNO} \rho T_6^{20} & \epsilon_{0,CNO} &= 8.24 \times 10^{-31} \text{ Wm}^3/\text{kg}^2 \\
 \epsilon_{3\alpha} &= \epsilon_{0,3\alpha} \rho^2 X_{He}^3 T_8^{41} & \epsilon_{0,3\alpha} &= 3.86 \times 10^{-18} \text{ Wm}^6/\text{kg}^3
 \end{aligned}$$

**stjerners egenskaper/siste stadier i stjerneutvikling:**

$$L \propto M^4$$

$$M \propto T_{\text{eff}}^2$$

$$\frac{T}{n_e^{2/3}} < \frac{h^2}{12m_e k} \left(\frac{3}{\pi}\right)^{2/3}$$

$$P = \frac{hc}{8} \left(\frac{3}{\pi}\right)^{1/3} n_e^{4/3}$$

$$R_{\text{WD}} \approx \left(\frac{3}{2\pi}\right)^{4/3} \frac{h^2}{20m_e G} \left(\frac{Z}{Am_H}\right)^{5/3} M^{-1/3}$$

$$t \propto 1/M^3$$

$$E_F = \frac{h^2}{8m_e} \left(\frac{3n_e}{\pi}\right)^{2/3}$$

$$P = \left(\frac{3}{\pi}\right)^{2/3} \frac{h^2}{20m_e} n_e^{5/3}$$

$$\langle E_K \rangle = \frac{3}{5} E_F$$

$$M_{\text{Ch}} \approx \frac{\sqrt{3/2}}{2\pi} \left(\frac{hc}{G}\right)^{3/2} \left(\frac{Z}{Am_H}\right)^2 \approx 1.4M_{\odot}$$