

**Instructies:** Schrijf uw naam en studentnummer op elk blad. Schrijf leesbaar. Lees voor u begint alle vragen even door. Grafische rekenmachines zijn **niet** toegestaan. Ook mag u geen eigen formuleblad hebben; formules en data worden in de opgaven of aan het einde gegeven.

### 1. Siderische en synodische dag

- Geef een definitie (in woorden) van de siderische dag en van de synodische dag. Maak een schets waaruit het verschil tussen de twee duidelijk wordt. Welke dag is langer?
- Waarom is bij benadering  $\omega_{\text{sid}} = \omega_{\text{sol}} + \omega$ ? Leid hieruit de relatie tussen  $P_{\text{sid}}$  en  $P_{\text{sol}}$  af.
- Bereken bij benadering het verschil tussen  $P_{\text{sid}}$  en  $P_{\text{sol}}$ . Klopt je antwoord met de ervaring?
- Beschrijf een andere situatie in ons Zonnestelsel waar je dezelfde ideeën kunt gebruiken (maar *niet* het verschil in synodische en siderische dag op een andere planeet).

### 2. Interactie van materie en licht

Bij overgang van de aangeslagen toestand  $n$  naar de lagere toestand  $n'$  van het H-atoom geldt

$$\Delta E = E_n - E_{n'} = \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) 13.6 \text{ eV}$$

- Laat zien dat de verhouding van kleinste tot grootste golflengte in de Balmerreeks 5 / 9 is. Bereken deze kleinste en grootste golflengte ook in nanometers.
- Beschrijf kort de Wetten van Kirchhoff en geef voor elk een astronomische situatie.

De Maxwell-Boltzmann-verdeling is gegeven door  $F(u) = b u^2 \exp(-u^2)$ ;  $b$  is een constante.

- Wat is de fysische betekenis van  $u$  en  $F(u)$ ? Schets  $F(u)$  en bepaal minimum en maximum.
- Welke rol speelt de MB-verdeling in de interpretatie van astronomische spectra?

### 3. Stervorming

Een homogene moleculaire-waterstofgasbol heeft deeltjesdichtheid  $n_0 = 10^{12} \text{ m}^{-3}$  en straal  $r_0$ . Op  $t = 0$  begint deze wolk in te storten. De deeltjes vallen vrij en botsen (aanvankelijk) niet.

- Wat is de massadichtheid  $\rho_0$  van de bol op  $t = 0$ ? Vergelijk met die van lucht ( $\approx 1 \text{ kg/m}^3$ ). Om welke factor moet de gasbol samentrekken om de dichtheid van de Zon te bereiken?
- Verifieer met dimensionele analyse dat de vrijevaltijd  $t_{\text{ff}} = b (G\rho_0)^{-1/2}$  met  $b$  een constante. Wat kun je nu zeggen over de valtijden van wolken met dezelfde  $\rho_0$  maar verschillende  $r_0$ ?
- Beredeneer hetzelfde resultaat als in b) op basis van een van de wetten van Kepler. Vind zo bovendien:  $b = (3\pi / 32)^{1/2}$ . Geef ook een numerieke schatting van  $t_{\text{ff}}$  voor  $n_0 = 10^{12} \text{ m}^{-3}$ .
- Volgens Jeans is de wolk instabiel als  $t_{\text{ff}} < r_0 / c_s$  met geluidssnelheid  $c_s = (\gamma k_B T / m)^{1/2}$ ,  $\gamma = 7/5$ . Leg dit Jeans-criterium uit en bereken de kritische straal als  $T = 10 \text{ K}$  en  $n_0 = 10^{12} \text{ m}^{-3}$ .

Er zijn nog twee opgaven op de keerzijde →

#### 4. Sterstructuur

- Een van de sterstructuurvergelijkingen is  $dP/dr = -GM(r)\rho(r)/r^2$ . Geef de betekenis van de symbolen in deze vergelijking en leid haar af.
- Leg uit waarom de druk in het centrum van een ster dus in benadering gegeven wordt door  $P_c \approx 2GM\rho/R \approx \frac{1}{2}GM^2/R^4$ . Wat betekenen de symbolen? Schat dit voor de Zon.
- Component A van de dubbelster Procyon heeft  $T = 6530$  K en lichtkracht  $L = 7L_\odot$ . Voor B is dat:  $T = 7740$  K,  $L = 0.00055L_\odot$ . Wat is de verhouding van de stralen van A en B?
- Afstand en periode van Procyon zijn 3.5 pc en 41 yr. De (gedeprojecteerde) halve lange as  $a = 4.3''$ . Vind de totale massa. Als  $M_A = 1.4M_\odot$ , wat is dan  $M_B$ ? Wat voor ster kan B zijn?

#### 5. Kosmologie

- Wat wordt bedoeld met de kosmische microgolf-achtergrondstraling (CMB)? En wat is de daarmee geassocieerde temperatuur  $T$ ? Schat de typische golflengte van een CMB-foton.
- Wat is de Paradox van Olbers? En wat is het moderne antwoord op deze 'paradox'?
- Wat vertelt de Wet van Hubble ons? En wat wordt bedoeld met de horizonafstand?
- In het zogenaamde Consensusmodel wordt de Friedmann-vergelijking gegeven door

$$\frac{H(t)^2}{H_0^2} = \frac{\Omega_{r,0}}{a(t)^4} + \frac{\Omega_{m,0}}{a(t)^2} + \Omega_\Lambda. \text{ Geef de betekenis van de hier gebruikte symbolen.}$$

#### Formules

Derde wet van Kepler:  $a^3\omega^2 = GM$

De Broglie-relatie:  $\lambda = h/p$ , Planck-Einstein-relatie:  $E = hf$

Wet van Wien:  $\lambda_{\max} \approx hc / (5k_B T)$

Afstandsmodulus:  $M - m = 5 - 5 \log d$  met  $d$  in pc

Absolute bolometrische magnitudo en lichtkracht:  $M_{\text{bol}} = 4.74 - 2.5 \log L/L_\odot$

Bolometrische correctie:  $BC = m_{\text{bol}} - m_V = M_{\text{bol}} - M_V$

#### Data

$c = 3.0 \times 10^8$  m/s,  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  C,  $G = 6.7 \times 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>,  $\hbar = 1.1 \times 10^{-34}$  J s

$k_B = 1.4 \times 10^{-23}$  J/K,  $\sigma_{\text{SB}} = 5.7 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>

Coulomb-constante  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$  Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>

Afmeting van een atoom  $\approx 10^{-10}$  m, afmeting van een atoomkern  $\approx 10^{-15}$  m

$m_e = 9.1095 \times 10^{-31}$  kg,  $m_p = 1.6726 \times 10^{-27}$  kg,  $m_\alpha = 6.6447 \times 10^{-27}$  kg

$M_\odot = 2.0 \times 10^{30}$  kg,  $R_\odot = 7.0 \times 10^5$  km,  $T_\odot = 5780$  K (opp.) en  $1.5 \times 10^7$  K (centrum)

$M_\oplus = 6.0 \times 10^{24}$  kg,  $R_\oplus = 6.4 \times 10^3$  km, siderische dag =  $23^h 56^m$

1 AU =  $1.5 \times 10^8$  km, 1 ly =  $9.5 \times 10^{12}$  km, 1 pc =  $3.1 \times 10^{13}$  km

Hubble-constante  $H_0 = 67 \pm 1$  km/s/Mpc