

Övningsuppgifter i astronomi

Johan Arvelius

7 december 2013

Det här dokumentet i senaste version:

<http://kyla.kiruna.se/~arvelius/astronomiuppgifter.pdf>



Läsanvisningar

Uppgifterna är strukturerade att följa upplägget i *Lagerkvist and Olofsson (2007)*.

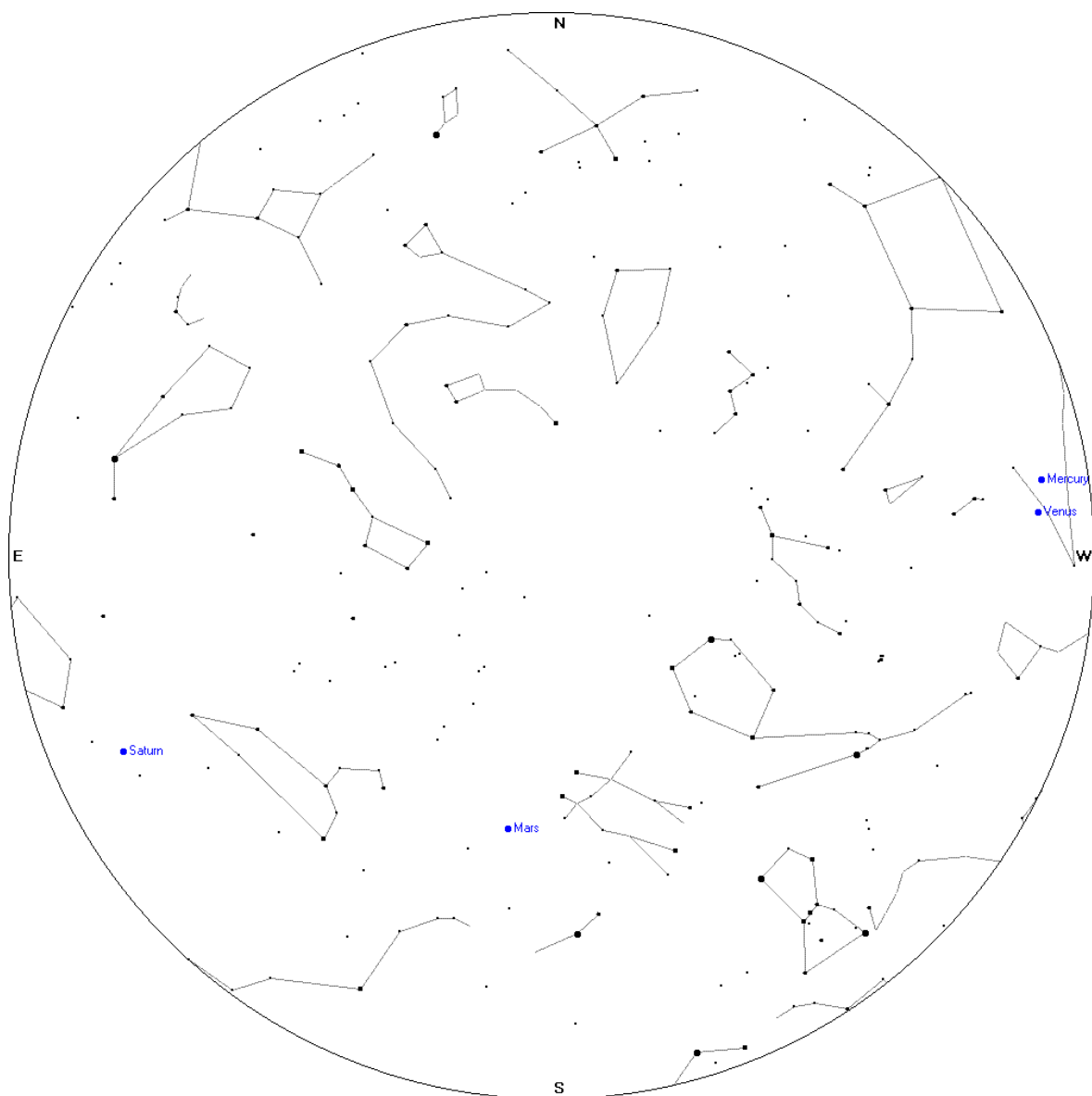
Moment markerade med * är lite svårare uppgifter för den intresserade, fler stjärnor är högre grad av överkurskaraktär. För dessa uppgifter kan man behöva söka information utanför boken.

Innehåll

1 Rundvandring på stjärnhimlen	2
2 Astronomiska observationer	5
3 Vårt planetsystem	10
4 Andra planetsystem	15
5 Stjärnornas egenskaper	16
6 Solen och stjärnornas utveckling	18
7 Stjärnornas slutstadier	21
8 Stjärnbildning och det interstellära mediet.	23
9 Vintergatan	24
10 Galaxer	25
11 Universums tidiga historia	25
Facit	26
Lösningar till utvalda uppgifter	33
Akronymer	40

1 Rundvandring på stjärnhimlen

1.1 Markera följande objekt på stjärnkartan i figur 1:



Figur 1: Stjärnhimlen i 2010-03-30 kl 20:00

- a) Stjärnbilden Lejonet
- b) Stjärnbilden Orion
- c) Stjärnbilden Cassiopeja
- d) Stjärnbilden Lilla björnen
- e) Stjärnbilden Stora björnen
- f) Stjärnbilden Tvillingarna
- g) Stjärnbilden Svanen
- h) Stjärnbilden Pegasus
- i) Stjärnbilden Oxen
- j) Stjärnan Vega
- k) Stjärnan Polaris (polstjärnan)
- l) Stjärnan Deneb
- m) Stjärnan Betelgeuse
- n) Stjärnan Aldebaran
- o) Stjärnan Arcturus

- p) Stjärnan Castor
- q) Stjärnan Pollux
- r) Stjärnan Capella
- s) Stjärnhopen Plejaderna

Exempel 1. En förmörkelsedubbelstjärna har magnitud 5 när båda stjärnorna är synliga. När den mindre av dem är helt förmörkad av den större är magnituden 6. Hur stor magnitud har den mindre stjärnan?

Lösning: Förhållandet mellan intensitet och magnitud ges av

$$m = -2,5 \log I + C$$

från vilket man kan lösa ut I

$$\begin{aligned} m - C &= -2,5 \log I \\ \frac{m - C}{-2,5} &= \log I \\ I &= 10^{\frac{m - C}{-2,5}} \\ I &= 10^{\frac{m}{-2,5} - \frac{C}{-2,5}} \\ I &= \frac{10^{\frac{m}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} \end{aligned}$$

Intensiteterna kan enkelt summeras, om vi betecknar totala intensiteten I , för den stora stjärnan I_s och den lilla I_l så gäller

$$\begin{aligned} I_l &= I - I_s \\ \frac{10^{\frac{m_l}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} &= \frac{10^{\frac{m}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} - \frac{10^{\frac{m_s}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} \\ 10^{\frac{m_l}{-2,5}} &= 10^{\frac{m}{-2,5}} - 10^{\frac{m_s}{-2,5}} \end{aligned}$$

Nu kan vi sätta in värdena för m och m_s

$$\begin{aligned} 10^{\frac{m_l}{-2,5}} &= 10^{\frac{5}{-2,5}} - 10^{\frac{6}{-2,5}} \\ 10^{\frac{m_l}{-2,5}} &\approx 0,00602 \end{aligned}$$

och till slut lösa ut m_l igen

$$\begin{aligned} \frac{m_l}{-2,5} &\approx \log 0,00602 \\ m_l &\approx -2,5 \log 0,00602 \\ &= 5,6 \end{aligned}$$

- 1.2 a) Vilken av stjärnorna Betelgeuse (α Ori) och Rigel (β Ori) är starkast på himlen?
- b) Hur stor är skillnaden i magnitud?
- c) Beräkna hur stort förhållandet är mellan stjärnornas intensiteter.

Lösning på sid 33.

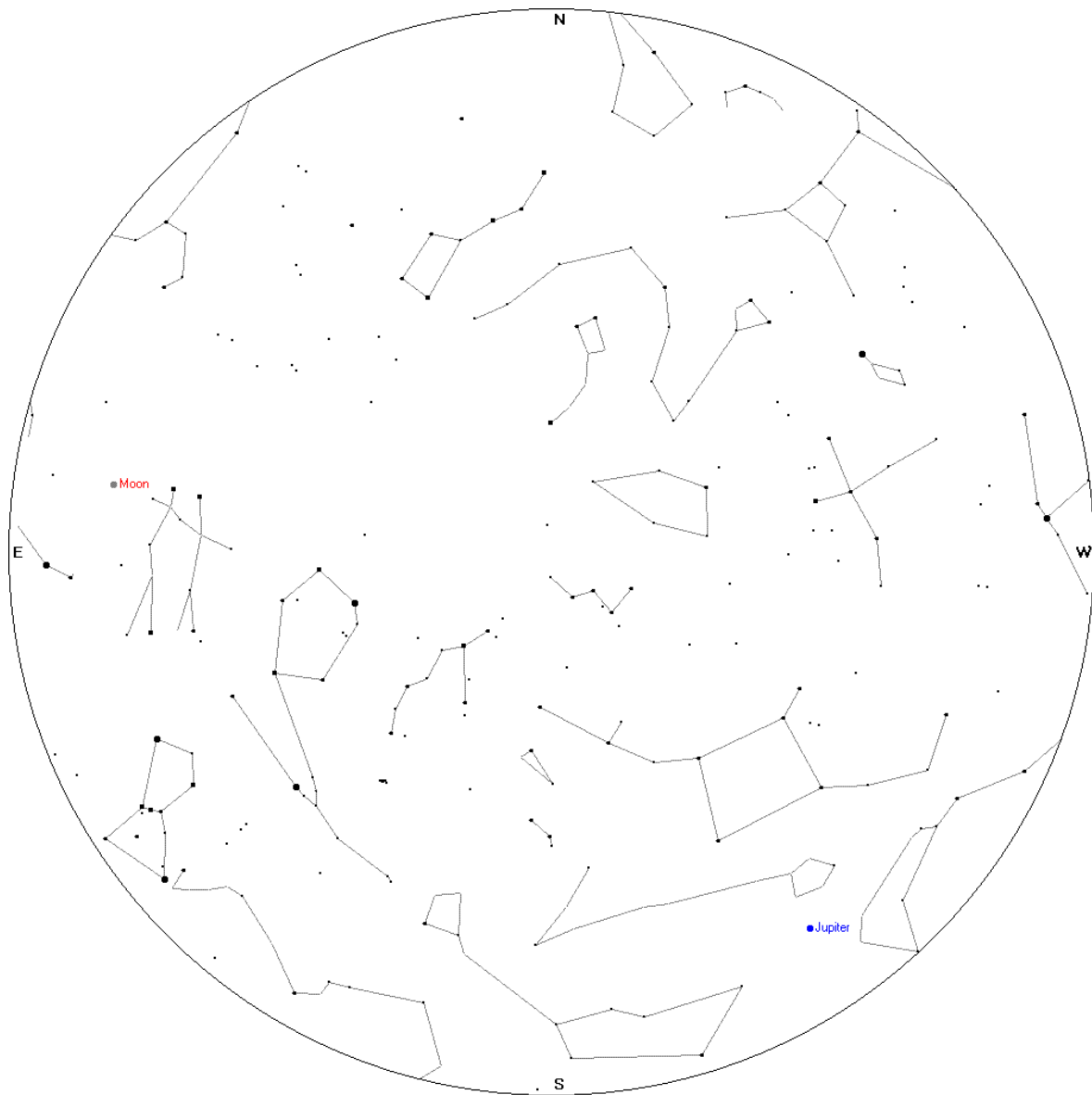
- 1.3 Med ett teleskop tar man en bild på några stjärnor. En av stjärnorna är känd och har den apperenta magnituden 4,6. För en av de andra stjärnorna i bilden registrerar man att intensiteten är 0,08 gånger så stor som för den kända stjärnan. Vad har den andra stjärnan för apperent magnitud?

Lösning på sid 33.

- 1.4 a) Vilka objekt var Charles Messier i första hand intresserad av att studera?
- b) Vilka objekt var han intresserad av att föra in i sin katalog över himmelsobjekt?

- 1.5 Pricka in följande objekt, som inte finns med, på stjärnkartan i figur 2:

- a) Stjärnhopen M13



Figur 2: Stjärnhimlen i 2010-10-30 kl 00:00

- b) Ringnebulosan (M57)
- c) Andromedagalaxen
- d) Orionnebulosan
- e) Plejaderna

1.6 Betrakta kartan på sid 19 i Lagerkvist. I vilken stjärnbild ligger objekten

- a) Altair
- b) NGC 6940
- c) NGC 6960

2 Astronomiska observationer

2.1 Vad menas med

- a) himmelsekvatorn
- b) storcirkel
- c) vårdagjämningpunkten
- d) seeing
- e) optiska fönstret
- f) radiofönstret
- g) apertur
- h) magnitud
- i) precession
- j) ekvatoriell teleskopmontering
- k) deklination
- l) rektascension
- m) refraktor
- n) parsek
- o) Ångström
- p) egenrörelse
- q) parallax
- r) stjärndygn

2.2 Vilka koordinater har objekten i 1.6? I vilket koordinatsystem?

2.3 Varifrån räknas vinklarna?

- a) höjd
- b) azimuth
- c) deklination
- d) rektascension

*2.4 Varför har det historiskt varit lättare att bestämma sin latitud än sin longitud till sjöss?

2.5 Ett stjärndygn är $3^m 56^s$ kortare än ett dygn enligt vår tideräkning (medelsoldygn).

- a) Förklara med en figur skillnaden mellan stjärn- respektive soldygn?
- b) Hur stor blir skillnaden mellan stjärntid och soltid på ett år (365,24 dygn)?

Lösning på sid 34.

- 2.6 a) Vad orsakar jordens precession?
- b) Hur lång är precessionens period?

Exempel 2. Proxima Centauri är den stjärna som befinner sig närmast solsystemet. Den har en årlig parallax av $0,76''$. Hur långt bort befinner den sig?

Lösning: Parallaxen är

$$p = 0,76'',$$

enligt parallaxformeln blir då avståndet

$$\begin{aligned} r &= \frac{1''}{p} \text{ pc} \\ &= \frac{1''}{0,76''} \text{ pc} \\ &= \frac{1}{0,76} \text{ pc} = 1,3 \text{ pc}, \end{aligned}$$

vilket är ett korrekt och fullödigt svar. Om man vill konvertera är det

$$r = 1,3 \text{ pc} = 1,3 \cdot 3,26 \text{ ljusår} = 4,3 \text{ ljusår}.$$

- 2.7 a) Hur många bågsekunder är $0,5^\circ$?
 b) Förklara med hjälp av figur begreppet parallax
 c) Vad står r och p för i formeln $r = 1/p$ och vilka är enheterna?
 d) Beräkna avståndet i parsec till stjärnan Ross 614 som har en årlig parallax av $0,25''$.
 e) Räkna om det till ljusår.

Lösning på sid 34.

Exempel 3. Procyon befinner sig 11,4 ljusår från solsystemet. Hur stor årlig parallax har Procyon?

Lösning:

$$\begin{aligned} r &= 11,4 \text{ ljusår} = 11,4/3,26 \text{ pc} \approx 3,5 \text{ pc} \\ r &= \frac{1''}{p} \text{ pc} \\ p &= \frac{1''}{r} \text{ pc} = \frac{1''}{11,4/3,26} = \frac{1'' \cdot 3,26}{11,4} = 0,29'' \end{aligned}$$

- 2.8 Beräkna den årliga parallaxen för Aldebaran som ligger 65,1 ljusår från solsystemet.

Lösning på sid 34.

Exempel 4. Proxima Centauri uppvisar en egenrörelse på $3,85''/\text{år}$ och en radialhastighet på -16 km/s .

- a) Hur stor är Proxima Centauris tangentialhastighet?
 b) Hur stor är Proxima Centauris totala hastighet i förhållande till solen?

Lösning:

- a) Uttrycket för tangentialhastighet säger

$$v_t = 4,74\mu r$$

med v_t i km/s , μ i $''/\text{år}$ och r i pc. För Proxima Centauri är $\mu = 3,85''/\text{år}$ och enligt exempel 2 är $r = 1,3 \text{ pc}$.

$$v_t = 4,74\mu r = 4,74 \cdot 3,85 \cdot 1,3 \text{ km/s} = 24 \text{ km/s}$$

- b) Totala hastigheten får man genom att lägga ihop tangentiell och radiell med Pythagoras sats

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{24^2 + (-16)^2} \text{ km/s} = 28,6 \text{ km/s}$$

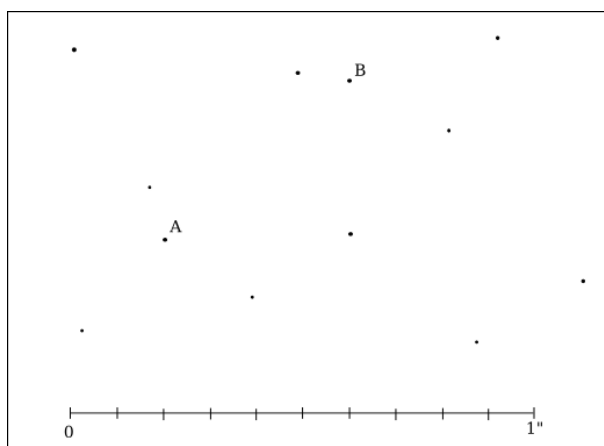
- 2.9 Aldebaran uppvisar en egenrörelse på $0,20''/\text{år}$ och en radialhastighet på $+54 \text{ km/s}$.

- a) Hur stor är Aldebarans tangentialhastighet?
 b) Hur stor är Aldebarans totala hastighet i förhållande till solen?

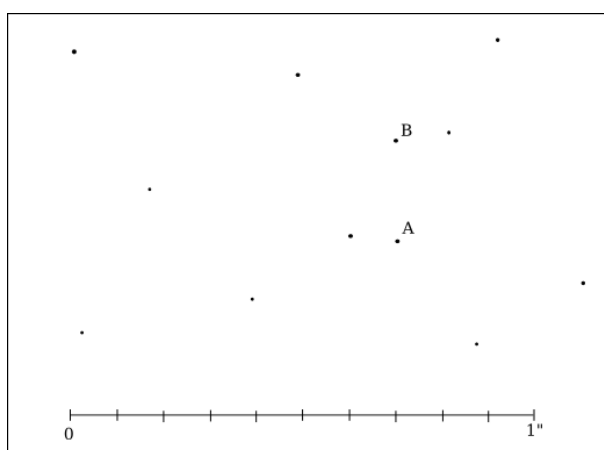
Lösning på sid 34.

- 2.10 I figur 3 visas tre bilder på en liten del av stjärnhimlen enligt skalan i figuren. Skalan är i vinkelmått längs en storcirkel över himlavalvet. De är tagna med ett halvårs mellanrum så att parallaxen för stjärna A är maximal mellan 3a och 3b.

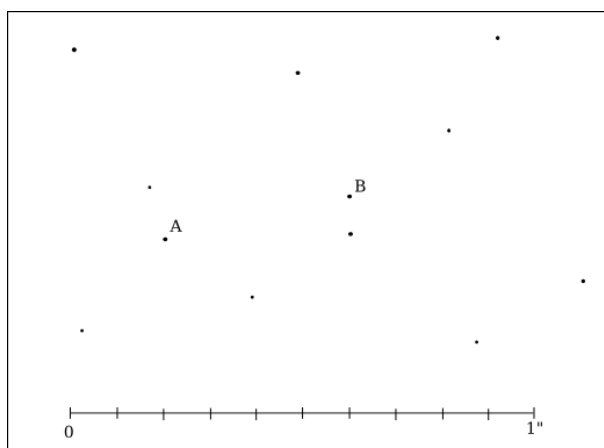
- a) Hur långt är det till stjärna A?



(a) 2007-01-01



(b) 2007-07-01



(c) 2008-01-01

Figur 3: Tre bilder tagna vid tidpunkter då parallaxen är som störst för stjärna A. Ill.: Johan Arvelius

- b) Hur långt är det till stjärna B?
- c) Hur stor är stjärna Bs egenrörelse?
- d) Hur stor är Bs tangentialhastighet?

Lösning på sid 35.

Exempel 5. Vilovåglängderna för Balmerseriens linjer är

linje	våglängd
H α	656,272 nm
H β	486,133 nm
H γ	434,047 nm
H δ	410,174 nm

Vid en spektralmätning av en stjärna mätte man upp våglängden för H β till 486,157 nm.

- a) Hur stor är stjärnans radiella hastighet i förhållande till jorden i mätningen?
- b) Var rörelsen riktad mot eller från oss?

Lösning:

a)

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$v = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 3,00 \cdot 10^8 \frac{486,157 - 486,133}{486,133} \text{ m/s} = 14,8 \text{ km/s}$$

- b) Våglängden förlängd alltså rödförskjutning, rörelsen är från oss.

2.11 För stjärna B i uppgift 2.10 uppmätte man linjen H γ till 434,012 nm vid en spektralmätning första april.

- a) Hur stor är stjärnans radiella hastighet i förhållande till jorden i mätningen?
- b) Var rörelsen riktad mot eller från oss?
- c) Hur stor blir stjärnans totala rörelse i förhållande till solen?

Lösning på sid 35.

2.12 Rektascension kan ges i grader som delas i (båg-)minuter och (båg-)sekunder som brukar skrivas t. ex. 12° 34' 56", eller i timmar, minuter och sekunder som brukar skrivas t. ex. 12^h 34^m 56^s.

- a) Hur många grader går det på en timme?
- * b) Hur många bågminuter går det på 1^m?
- ** c) Vad blir 12° 34' 56" i timmar, minuter och sekunder?
- ** d) Vad blir 12^h 34^m 56^s i grader, minuter och sekunder?

2.13 Vad menas med

- a) himmelsekvatorn
- b) storcirkel
- c) vårdagjämningspunkten
- d) seeing
- e) optiska fönstret
- f) radiofönstret
- g) apertur
- h) magnitud
- i) precession
- j) ekvatoriell teleskopmontering
- k) deklination
- l) rektascension
- m) refraktor
- n) parsek
- o) Ångström
- p) egenrörelse
- q) parallax
- r) stjärndygn

2.14 Rangordna följande våglängdsområden efter hur lång våglängd de har.

- a) gamma
- b) grön
- c) infraröd
- d) radio
- e) röd
- f) röntgen
- g) ultraviolett
- h) violett

2.15 Vilka är de två största fördelarna med att ha teleskop på satelliter istället för på jorden?

Exempel 6. Beräkna förstoringen man får när man sätter ett okular med brännvidden 10 mm på ett teleskop med brännvidden 1,5 m.

Lösning: Teleskopets brännvidd $f_{\text{objektiv}} = 1500$ mm, okularets $f_{\text{okular}} = 10$ mm ger förstoringen

$$M = f_{\text{objektiv}}/f_{\text{okular}} = 1500/10 = 150 \text{ ggr}$$

Exempel 7. Beräkna hur stor den teoretiskt högsta vinkelupplösningen för ljus med våglängden 500 nm är för ett teleskop med 6'' (sex tum) apertur.

Lösning: Fullständigt förvirrande anges både längdmåttet tum (som är vanligt i Amerika och ofta används för teleskop) och vinkelmåttet bågsekunder med beteckningen bis ("). $\lambda = 500 \cdot 10^{-9}$ m, $D = 6'' = 6 \cdot 25,4 \text{ mm} = 152 \text{ mm}$

$$\alpha = \frac{2,3 \cdot 10^5 '' \lambda}{D} = \frac{2,3 \cdot 10^5 '' \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{0,152} = 0,75 ''$$

Alltså 0,75 bågsekunder.

2.16 För att titta på ljussvaga objekt genom ett teleskop vill man inte ha för stor förstoring för då får man in för låg ljusintensitet. Om man väljer längre okular som ger mindre förstoring ökar utgångspupillens storlek och man får in mer ljus i ögat. Om utgångspupillen från teleskopet blir större än ögats pupill kan man inte tillgodogöra sig allt ljus och det blir ingen ytterligare förbättring. När utgångspupillen från teleskopet är lika stort som ögats pupill, ca 6 mm brukar man säga att man har optimal förstoring.

Om man har ett teleskop med 2000 mm brännvidd och 200 mm apertur.

- a) Hur långt okular ska man välja för optimal förstoring?
- b) Hur stor förstoring ger det?

Lösning på sid 35.

2.17 Huvudteleskopet i rymdboxen som skolan just skaffat för att skicka runt till Norrbottens skolor är en 8'' reflektor som har 2 m brännvidd. Aperturen är 203 mm.

- a) Beräkna hur stor den teoretiskt högsta vinkelupplösningen för ljus med våglängden 500 nm är för ett teleskop med den storleken.
- b) Med teleskopet följer okular med brännvidder mellan 6,4 mm och 40 mm. Beräkna vilken som är den största förstoring som går att få med de okularen till teleskopet.
- c) Teleskopet har alt-azimutal montering till skillnad från teleskopet i Bengt Hultqvistobservatoriet som har ekvatoriell montering. Förklara vilken skillnaden är.

Lösning på sid 36.

- 2.18 a) Vilken förstoring ger teleskopet i Bengt Hultqvistobservatoriet (BHO) som har 3048 mm brännvidd om man använder ett okular som har 36 mm brännvidd?
- b) Vilken brännvidd behöver man på okularet i samma teleskop för att få 100 ggr förstoring?
- c) Teleskopet har en apertur på 305 mm. Hur långt okular ska man välja för att utnyttja teleskopet bäst för det mänskliga ögat?
- d) Hur stor förstoring ger det?
- e) Hur stor är den teoretiskt största upplösningen för teleskopet? (Våglängd för synligt ljus är runt $500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,000\,000\,5 \text{ m.}$)

- f) Hur långt måste det vara mellan ett par dubbelstjärnor på 10 pc avstånd för att man ska kunna skilja dem från varandra med den upplösningen? (Ledning: från definitionen av parsek fås att på 10 pc avstånd motsvarar $1''$ 10 AE)

Lösning på sid 36.

- 2.19 Hur stort skulle ett radioteleskop som mäter vid 10 cm våglängd behöva vara för att kunna mäta med samma upplösning som teleskopet i BHO?

Lösning på sid 36.

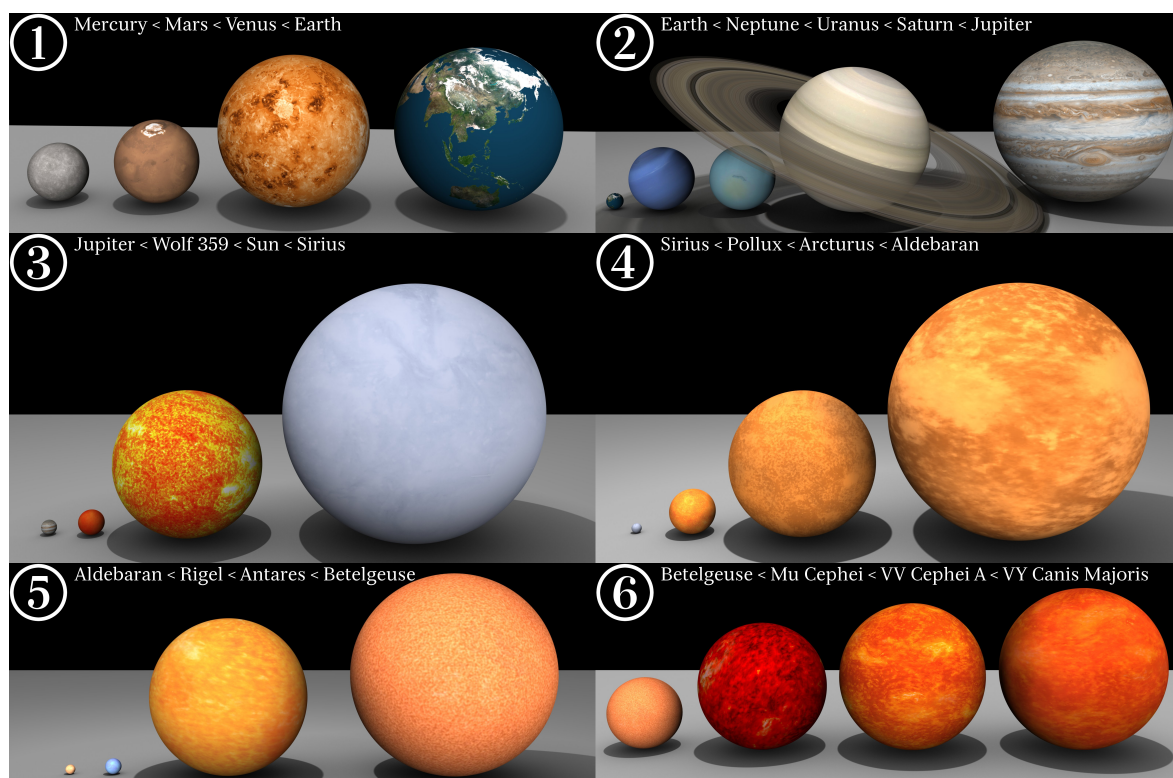
- 2.20 Hur kan man utnyttja flera radioteleskop för att få högre upplösning?

- *2.21 Kromatisk aberration är ett avbildningsfel som är besvärligt i refraktorteleskop. Det förekommer inte alls i reflektorteleskop, varför?

- **2.22 Interferometri har använts för radioteleskop sedan länge och med teleskop spridda över hela jorden. Bara de senaste åren har man börjat använda interferometri för optiska teleskop och då bara mellan teleskop som står bredvid varandra, varför är det mycket svårare att bygga optiska interferometrar?

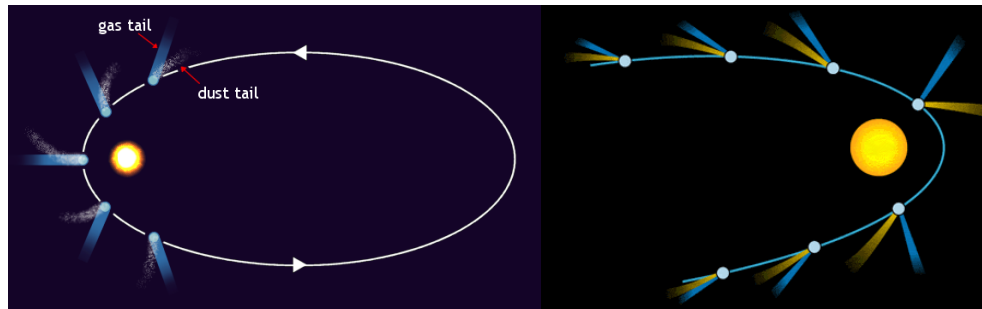
3 Vårt planetsystem

- 3.1 a) Vilket är det vanligaste grundämnet i solsystemet?
b) Hur stor andel av antalet atomer är av detta grundämne?



Figur 4: Storleksjämförelse för solsystemets planeter och några stjärnor. Ill.: Dave Jarvis Från [Wikimedia Commons](#).

- 3.2 Rangordna radierna för följande i storleksordning: (a) Jupiter (b) solen (c) Betelgeuse (d) Månens bana runt jorden (e) Merkurius bana runt solen (f) Jupiters bana runt solen. Betelgeuse är en röd jättestjärna med 650 ggr större radie än solen. (Se figur 4.)



(a) Ill.: Wikipedia en användare [Fredrik](#) Från [Wikimedia Commons](#).

(b) Från [Wikimedia Commons](#).

Figur 5: Två motstridiga illustrationer över kometers svansar.

De små kropparna i planetsystemet

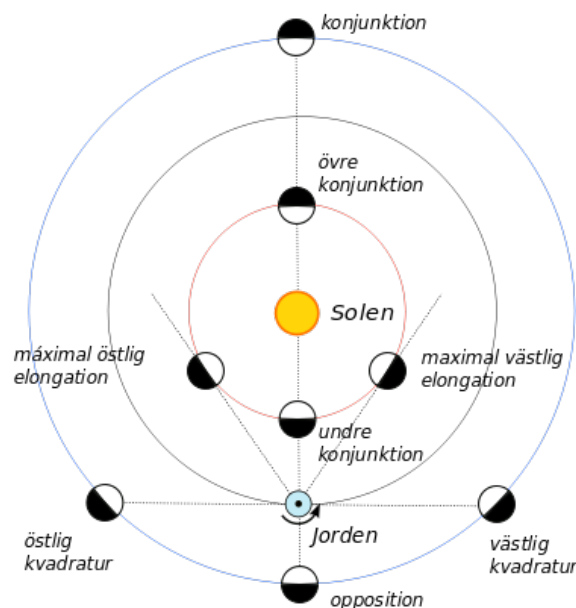
- 3.3 Vilken är den huvudsakliga beståndsdel i kometer?
- 3.4 Nästan alla kroppar i solsystemet ligger i samma plan varför?
- 3.5 Vad är ursprunget till:
- Meteoror?
 - Meteoriter?
- 3.6 Hur kommer det sig att meteoriter blir av sten eller järntyp?
- 3.7 Vad är innehållet i kometernas två svansar?
- 3.8 Figur 5 visar två olika skisser över kometsvansar som motsäger varandra. Vilken är riktig?
- 3.9 Vissa tider på året, några dygn i taget kommer det många meteoror, s.k. meteorskurar. Varför kommer de vid dessa tidpunkter?
- *3.10 Objektet 1583 Antiochus rör sig runt solen i en omloppsbana med en omloppstid på 11,55 år (jordår). Med ledning av omloppstiden, vad är mest troligt att det är för typ av himlakropp?
Lösning på sid [36](#).
- **3.11 Det finns ett instrument byggt i Kiruna som är på väg på en rymdsond för att göra mätningar vid en komet. Var är det på väg, när ska det vara framme och vad ska det mäta?
- **3.12 Trojaner kallas kroppar som ligger i Lagrangepunkterna L4 och L5 i samma bana som en planet (eller måne) men 60 grader före eller efter i varvet. Det finns tre Lagrangepunkter till i ett system av två kroppar som cirklar kring varandra i rymden.
- Var ligger dessa?
 - Vad finns i Lagrangepunkterna för Solen-Jorden systemet?
 - Vad finns i Lagrangepunkterna för Solen-Jupiter systemet?

Huvudplaneterna

- 3.13 Enligt Astronomiska Unionens ([AUs](#)) kriterier för en planet från 2006 ska en planet gravitationellt dominera sin bana. Det uteslöt en himlakropp som tidigare betraktats som en planet.
- Vilken?
 - Varför?

De jordliknande planeterna

- 3.14 Vad menas med
- ekliptika
 - opposition



Figur 6: Skiss över konjunktion och opposition Ill.: Francisco Javier Blanco González Från [Wikimedia Commons](#).

- c) albedo
- d) troposfär
- e) stratosfär
- f) perihelium
- g) retrograd rotation
- h) kelvinskalan
- i) ringformig solförmörkelse

3.15 Vilken av de fyra inre planterna har:

- a) Tjockast atmosfär?
- b) Högst täthet?
- c) Längst år?
- d) Snabbast rotation?
- e) Flest månar?
- f) Högst yttemperatur?

3.16 Vad kallas månens fyra huvudfaser?

3.17 Vad heter Mars högsta berg?

3.18 Vad är huvudbeståndsdelen i respektive planets atmosfär för de fyra inre planeterna?

Exempel 8. När en yttre himlakropp står i rakt motstätt riktning som solen kallas det opposition, från den yttre himlakroppen kallas samma tidpunkt, alltså när den inre ligger mitt mellan den och solen, för undre konjunktion. Se figur 6.

Venus omloppstid kring solen är 225 dygn och jordens är 365 dygn. Beräkna hur lång tid det tar från att Venus befinner sig i undre konjunktion från jorden sett tills nästa gång det inträffar.

Lösning: Venus rör sig med en vinkelhastighet

$$\omega_{\text{V}} = \frac{1}{225} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}}$$

och jordens

$$\omega_{\text{J}} = \frac{1}{365} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}}.$$

Om vi räknar vinkel från den första konjunktionen. Kommer Venus efter tiden t dagar att ha gått vinkeln $\phi_{\text{V}} = \omega_{\text{V}} t$ och jorden $\phi_{\text{J}} = \omega_{\text{J}} t$. De befinner sig i undre konjunktion igen när Venus har gjort

precis ett varv mer än Jorden.

$$\begin{aligned}
 \phi_{\text{V}} &= \phi_{\text{J}} + 1 \\
 \omega_{\text{V}} &= \omega_{\text{J}} + 1 \\
 \frac{t}{225} &= \frac{t}{365} + 1 \\
 t(\omega_{\text{V}} - \omega_{\text{J}}) &= 1 \\
 t &= (\omega_{\text{V}} - \omega_{\text{J}})^{-1} \\
 &= \left(\frac{1}{225} - \frac{1}{365} \right)^{-1} = 587 \text{ dygn} = 1,61 \text{ yr}
 \end{aligned}$$

Exempel 9. Venus omloppstid kring solen är 225 dygn och jordens är 365 dygn. Beräkna hur lång tid det tar från att Venus befinner sig i maximal östlig elongation från jorden sett till den kommit till maximal västlig elongation. Se figur 6.

Lösning: Venus rör sig med en vinkelhastighet

$$\omega_{\text{V}} = \frac{1}{225} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}} = \frac{360}{225} \frac{\text{grader}}{\text{dygn}}$$

och jordens

$$\omega_{\text{J}} = \frac{1}{365} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}} = \frac{360}{365} \frac{\text{grader}}{\text{dygn}}.$$

Med punkterna V i Venus, S i solen och J i jorden är triangeln VSJ rätvinklig med vinkeln SVJ rät vid maximal elongation. Då kan vi räkna ut vinkeln VSJ med cosinus i den rätvinkliga triangeln

$$\angle \text{VSJ} = \arccos \left(\frac{\text{VS}}{\text{JS}} \right) = \arccos 0,72 = 44^\circ.$$

Vi behöver alltså räkna ut hur lång tid det tar för Venus att tillryggalägga 88° längre del i sin bana än vad Jorden gör på samma tid.

$$\begin{aligned}
 \phi_{\text{V}} &= \phi_{\text{J}} + 88^\circ \\
 \omega_{\text{V}} &= \omega_{\text{J}} + 88^\circ \\
 \frac{t}{225} &= \frac{t}{365} + 88^\circ \\
 t(\omega_{\text{V}} - \omega_{\text{J}}) &= 88^\circ \\
 t &= \frac{88^\circ}{\omega_{\text{V}} - \omega_{\text{J}}} \\
 &= \frac{88}{\frac{360}{225} - \frac{360}{365}} = 143 \text{ dygn}
 \end{aligned}$$

- 3.19 Beräkna hur lång tid det tar från att Merkurius befinner sig i undre konjunktion från jorden sett tills nästa gång det inträffar.

Lösning på sid 36.

- 3.20 Beräkna i hur stor vinkel från solen som Merkurius kan finnas sig från solen på himlavalvet. Slå upp avstånden du behöver, du kan räkna med cirkelformade banor.

Lösning på sid 37.

- 3.21 Beräkna hur lång tid det tar från att Merkurius befinner sig i maximal östlig elongation från jorden sett till den kommit till maximal västlig elongation.

Lösning på sid 37.

- 3.22 Tiden mellan två lika månfasar, t ex från fullmåne till följande fullmåne kallas synodisk månad. Tiden det tar för månen att fullborda ett varv kring solen kallas siderisk månad. Utgående från att den synodiska månaden är 29,5306 dagar och ett sideriskt år är 365,26 dagar, beräkna den sideriska månadens längd.

Lösning på sid 37.

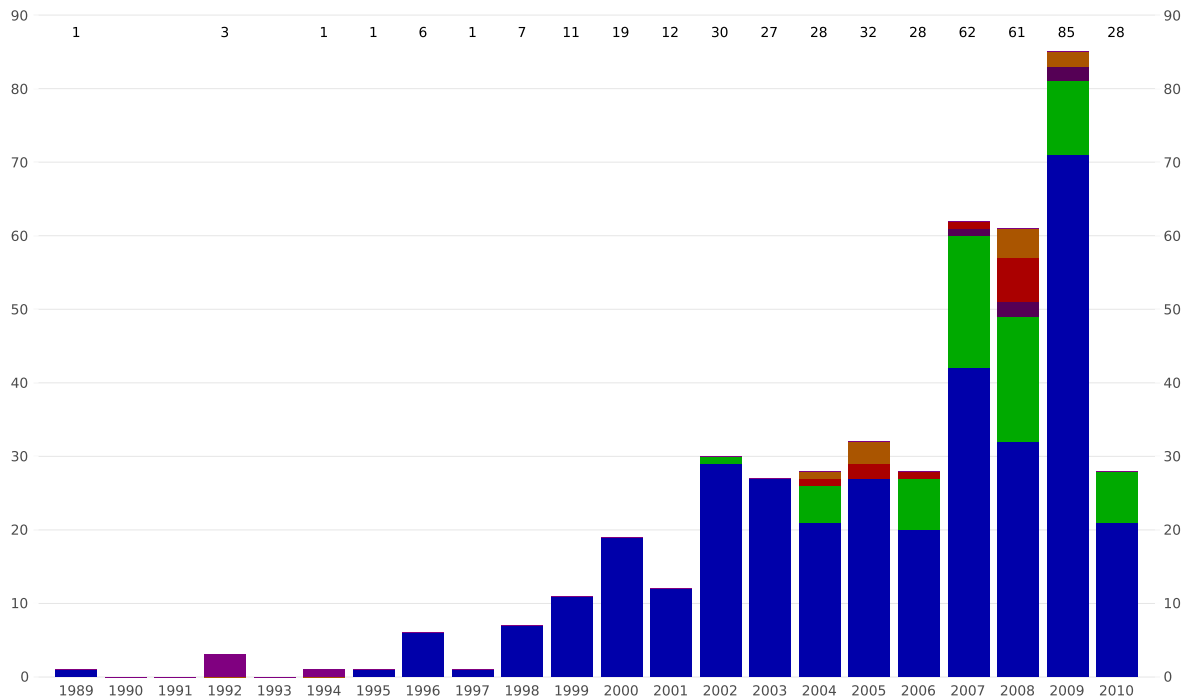
- *3.23 Vilken fas är månen i när man ser halvmåne på kvällen?
- *3.24 Vilka av de inre planeterna har haft eller planeras få besök av rymdsonder med instrument från Kiruna?
- *3.25 Venus har ett hittills oförklarat vindmönster. Vad är det mest uppseendeväckande med det?
- **3.26 Ett soldygn är den tid det tar mellan att solen står i ett visst vädersträck sett från ytan tills den kommer tillbaka till samma position, se sid 38–39 i boken. Räkna ut hur långt ett soldygn är på:
- a) Merkurius.
 - b) Venus.

De yttre planeterna

- 3.27 Vad menas med
- a) Cassinis delning
 - b) Galileiska månarna
- 3.28 Jupiter och Saturnus består båda till största delen av väte men Jupiter har dubbelt så hög densitet. Varför?
- 3.29 a) Callisto
b) Europa
c) Ganymedes
d) Io
e) Phobos
f) Titan
g) Triton
- 3.30 Till vilken av månarna nämnda i fråga 3.29 hör respektive av följande utmärkande egenskaper:
- a) Tjockast atmosfär
 - b) Störst
 - c) Vulkanisk aktivitet
 - d) Retrograd rörelse
- 3.31 Två himlakroppar i solsystemet har aktiva vulkaner. Vilka?
- 3.32 Vilken av planeterna har rotationsaxeln i minst vinkel till ekliptikan?
- *3.33 Ta reda på när var och en av de stora planeterna senast hade besök av en rymdsond utsänd av människan.
- *3.34 Saturnusmånen Titan har utforskats bl. a. av ett svenskt instrument på rymdsonden Cassini.
- a) Vilket?
 - b) När?
 - c) Vilka mätningar gjordes?
 - d) Vad var de viktigaste resultaten från Cassini om Titan?
- **3.35 Uranus har liksom jorden vindar som i genomsnitt går från öst till väst (ostvindsbälte) vid ekvatorn och från väst till öst (västvindsbälte) kring polerna (om man definierar nordpolen för Uranus efter rotationsriktningen som de andra planeterna med prograd rotation). Varför blir det så.

Repetition planetsystemet

- 3.36 Nämn minst ett utmärkande drag för varje planet i solsystemet.
- 3.37 Vad är ursprunget till:
- a) kometer
 - b) asteroider



Figur 7: Antalet upptäckta exoplaneter per år uppdelade efter upptäcktsmetod enligt katalog vid Observatoire de Paris per 2010-03-19. Metoderna färgkodade enligt: Blå, radialhastighet; grön, för-mörkelse; mörklila, double star timing; gul, astrometri; röd, direkt avbildning; orange, mikrolins och lila pulsar timing. Ill.: Wikimedia commons användare [Aldaron](#) Från [Wikimedia Commons](#).

c) meteoror

d) meteoriter

3.38 Vilka är de fyra Galileiska månarna?

3.39 Var i solsystemet ligger de flesta asteroiderna?

3.40 Vad är huvudbeståndsdelen i atmosfären på:

a) Venus

b) Jorden

c) Mars

d) yttre planeterna

e) Titan

3.41 Hur lång är månens rotationsperiod?

3.42 Vad heter solsystemets högsta berg?

3.43 Vilken är den största kända av de transneptunska kropparna?

3.44 Stenmeteoriter kommer från asteroidernas skal. Vad kallas de meteoriter som kommer från asteroidernas kärnor?

3.45 a) Vad är ursprunget till meteorsvärmen Leoniderna?

b) Varför kallas den Leoniderna?

4 Andra planetsystem

4.1 Som synes i figur 7 har de flesta exoplaneter upptäckts med radialhastighetsmetoden. Nu planerar och bygger man flera projekt med specialiserad rymdteleskop för att söka efter exoplaneter och väntar sig därför att hitta de flesta med en annan metod i framtiden.

a) Vilken metod då?

b) Nämn några aktuella projekt

4.2 De metoder som finns att upptäcka exoplaneter har alla förstås lättare att upptäcka planeter ju större de är.

- Den mest effektiva metoden idag är spektrometriska metoden. Resonera utifrån de formler som finns i boken om det är lättare att hitta planeter nära eller långt från sina respektive stjärnor med den.
- Framtida projekt för att hitta exoplaneter ska ta foton på mängder med stjärnor i taget med mycket hög precision och använda astrometeriska metoden i stor skala. De väntas efter flera års letande hitta andra planeter än de som man finner med spektrometriska metoden. Visa utifrån formlerna i boken varför det blir så och vad det är för planeter man förväntar sig att hitta med den metoden.

5 Stjärnornas egenskaper

5.1 Vad menas med

- svartkropp
- Wiens förskjutningslag
- flux
- luminositet
- emmissionsspektrum
- absorbtionsspektrum
- metallhalt

- Förklara förhållandet mellan flux, luminositet och absolut magnitud.
- Förklara skillanden mellan absolut och apparent magnitud.

5.3 Solen liksom alla andra stjärnor sägs vara svartkroppar trots att de inte ser särskilt svarta ut när man betraktar dem. Vad menas med svartkropp?

Exempel 10. Stjärnan Vega i Lyran har 3,1 gånger större diameter än solen och yttemperaturen 9300 K. Beräkna Vegas luminans.

Lösning: Solens radie $R_{\odot} = 696 \cdot 10^6$ m.

Stefan-Boltzmanns lag

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 4\pi (3,1 R_{\odot})^2 \sigma T^4 = 4\pi (3,1 \cdot 696 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 9300^4 \text{ W} = 2,5 \cdot 10^{28} \text{ W}$$

som kan jämföras med solens $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$

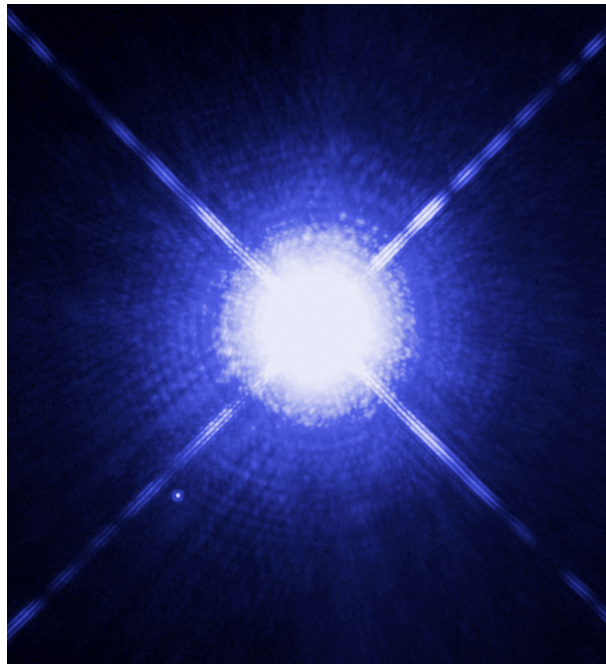
$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{2,5 \cdot 10^{28}}{3,86 \cdot 10^{26}} = 64$$

5.4 Stjärnan Arcturus i Björnvaktaren har 25 gånger större diameter än solen, och en total luminositet som är 215 gånger solens.

- Beräkna Arcturus temperatur och flux.
- Betrakta HR-diagrammet på sid 142 i boken. Vad är Arcturus för typ av stjärna? Vad har den för spektraltyp?
- Vid vilken våglängd är strålningen från stjärnan mest intensiv?
- Ibland ser man uppgifter om att Arcturus visuella luminans är runt 113 gånger större än solens, vad menas med det?

Lösning på sid 38.

5.5 Den mindre stjärnan i dubbelstjärnan Sirius, Sirius B har en yttemperatur på 24 800 K, men har ändå en total luminans som bara är 2,4 % av solens. Genom att mäta stjärnornas banor har man kunnat se att Sirius A har en massa som är 2,12 gånger solens medans Sirius B:s massa är 1,03 gånger solmassan. Man tror att de två stjärnorna bildades tillsammans. Eftersom tyngre stjärnor dör fortare än lättare måste Sirius B ha varit större än A från början. Alltså visar dubbelstjärnan Sirius att stjärnor gör sig av med en stor del av sin massa när de blir dvärgar.



Figur 8: Sirius A i mitten av bilden och Sirius B nedan till vänster, fotograferade av Hubble space telescope.

- a) Beräkna hur stor Sirius B är, jämför med jordens storlek.
- b) Hur stor densitet har Sirius B?
- c) Betrakta HR-diagrammet. Vad är Sirius B för typ av stjärna?

Lösning på sid 38.

- 5.6 Den största stjärnan i dubbelsystemet Castor i Tvillingarna har 2,3 gånger större diameter än solen och yttemperaturen 10 300 K. Beräkna dess luminans.

Lösning på sid 38.

- 5.7 En stjärnas yta ökar med radien i kvadrat. Vilken stjärna har större luminositet?

- a) En med flux 10^{14} W/m^2 och lika stor radie som solen eller en med flux 10^{13} W/m^2 och dubbelt så stor radie?
- b) En med yttemperaturen 6000 K och lika stor radie som solen eller en med temp 5000 K och dubbelt så stor radie?

Lösning på sid 38.

- 5.8 Beräkna hur stor solens flux är. Nödvändiga data finns i tabell 6.1 på sid 149 i Lagerkvist.

Lösning på sid 39.

- *5.9 Vilken spektraltyp har solen?

- 5.10 I vilka våglängdsområden kommer ljuset i

- a) Lymanserien,
- b) Balmer-serien,
- c) Paschen-serien?

- 5.11 Absorptionslinjer i solspektret uppkommer av att svartkroppsstrålningen från fotosfären går genom den omgivande gasen. När strålning av vissa våglängder träffar atomer i gasen exciteras de men de deexciterar omedelbart och återutsänder en ljus med samma våglängd. Hur kommer det sig att det syns som en absorptionslinje när det sänds ut lika mycket ljus som det absorberas?

- 5.12 Vilken stjärna är varmast av två som har B–V-index 0 och 1?

5.13 Vilovåglängderna för Balmerseriens linjer är

linje	våglängd
H α	656,272 nm
H β	486,133 nm
H γ	434,047 nm
H δ	410,174 nm

Vid en spektralmätning av stjärnan Vega mätte man upp våglängden för H β till 486,111 nm.

- Hur stor är Vegas radiella hastighet i förhållande till jorden i mätningen?
- Var rörelsen riktad mot eller från oss?
- Om man är intresserad av hastigheten mellan solen och Vega, har det betydelse vilken tid på året man gjorde mätningen? Alltså, behöver man ta hänsyn till jordens hastighet i banan?
- Vid vilken våglängd återfinns H α -linjen i samma mätning?
- Vega uppvisar även en årlig parallax på 0,129". Beräkna hur långt bort den ligger.
- Vidare har den en egenrörelse på 0,201"/år i deklination och 0,287"/år i rektacension. Och har koordinaterna 18^h36^m56,3^s, +38°47'01". Hur stor är Vegas tangentialhastighet?
- Hur stor är Vegas totala hastighet i förhållande till solen?

Lösning på sid 39.

5.14 Väte är det vanligaste grundämnet i atmosfären till nästan alla stjärnor och dominerar absorptionsspektret för klass A stjärnor.

- För de heta O- och B-stjärnorna är heliumlinjerna starkare. Varför?
- För de svalare K-stjärnorna är kalciumlinjerna starkare. Varför?

*5.15 Var hittar man stjärnor som har sin energiförsörjning från proton-protonkedjan i kärnan i HR-diagrammet?

*5.16 Betrakta bilderna på sid 143 i Lagerkvist. Trots att de flesta stjärnor befinner sig på huvudserien är det många kända stjärnor som har gått ifrån huvudserien. Hur kommer det sig?

5.17 Enligt bild 5.18 i Lagerkvist ökar storleken på stjärnor diagonalt upp mot hörnet med röda superjättar. Förklara varför.

6 Solen och stjärnornas utveckling

6.1 Varifrån kommer solens energi?

6.2 Var i solen sker energiproduktionen?

6.3 Det finns tre olika kärnreaktionsprocesser som kan stå för energiutvecklingen i stjärnor, men alla stjärnor börjar med proton-protonkedjan. Varför?

6.4 Proton-protonkedjan ger som nettoreaktion att fyra protoner slås ihop till en Helium-4 kärna



där ν och γ är masslösa partiklar som får överskottsenergin från reaktionen. En del av massan hos vätekärnorna omvandlas till energi av Einsteins ekvation

$$E = mc^2.$$

Fyra väteatomer väger tillsammans $6,693 \cdot 10^{-27}$ kg och en heliumatom väger $6,645 \cdot 10^{-27}$ kg.

- Beräkna hur mycket energi som frigörs vid reaktionen 1.
- Solens luminositet är $3,9 \cdot 10^{26}$ W d.v.s. varje sekund frigörs $3,9 \cdot 10^{26}$ J energi. Hur många proton-protonkedjereaktioner enligt 1 motsvarar det?
- Hur stor massa väte motsvarar det?
- Beräkna hur stor del av solens totala massa som kommer att omvandlas från väte till helium under solens tid som huvudseriestjärna (10 miljarder år).

Lösning på sid 39.

6.5 Hur stor del av solen upptar kärnan räknat i

- a) radie,
- b) volym?

Lösning på sid 39.

- 6.6 Hur sker energitransporten ut från solens kärna genom
- a) kärnan
 - b) strålningszonen
 - c) konvektionszonen?
- *6.7 Solens olika lager har väldigt olika temperaturer men strålningen från solen visar en klar svartkroppsstrålning 5780 K. Hur kommer det sig?
- 6.8 På sidan 149 i boken står det att en av de starkaste *emissionslinjerna* solens kromosfär är $H\alpha$ vid 6563 Å men i figur 5.14 på sidan 139 syns tydligt $H\alpha$ som är den starka *absorptionslinjen* på den våglängden. Båda är rätt, förklara hur det hänger ihop.
- 6.9 a) Beskriv fenomenet granulation.
b) Vilka områden är ljusast resp. mörkast i granulationsmönstret.
- 6.10 Hela solen vibrerar, forskning om detta kallas helioseismologi. Hur kan man mäta vibrationerna?
- 6.11 Vilken strålning från kärnreaktionerna i solen når jorden snabbast?
- 6.12 Var uppkommer solens absorptionslinjer (i vilket lager)?
- 6.13 Var är solen som svalast? Frågan kan besvaras både i radiell led alltså i vilket skikt och var i detta skikt.
- 6.14 Vad kallas den ständiga ström av partiklar som lämnar solen?
- 6.15 Hur snabbt roterar solen kring sin egen axel?
- 6.16 Solfläckar syns som mörka mot solens ljusa bakgrund.
- a) Varför är de mörkare?
 - b) Vad är det som ger upphov till att det blir så?
 - c) Varför uppkommer oftast två solfläckar nära varandra?
- 6.17 Solens aktivitet går i cykler med en periodtid på 22 år, men antalet solfläckar varierar med en periodicitet på 11 år. Vad är skillnaden?
- *6.18 Var i solfläckscykeln befinner vi oss för tillfället? Situationen är ovanlig. Vad är det som är speciellt.
- **6.19 De kärnreaktioner som sker inne i solen kan man nästan bara förstå genom att göra modeller och se om de ger lagom mycket energi och håller det inre trycket i solen konstant. Den enda direkta informationen som kommer från kärnan är neutriner som kan detekteras i neutrinodektorer. Efter långa mätningar av neutrinoflödet från solen har ställt forskarna inför ett problem som kallas neutrino problemet.
- a) Vad är problemet?
 - b) Eftersom både sol- och neutrinoforskarna känner sig säkra på sina saker vill man använda detta som ett bevis för ett mycket fundamentalt fysikaliskt påstående, vad är det man anser sig ha bevisat?
- **6.20 Människan använder kärnfission d. v. s. delning av tunga atomkärnor för att få ut energi i kärnkraftverk medans solen gör kärnfusion d. v. s. hopslagning av lätta kärnor. Man har under lång tid försökt att använda fusionsprocesser för energiutvinning på jorden, men befinner ännu på forskningsstadiet. Regeringen har just bestämt att man ska tillåta byggandet av nya kärnreaktorer i Sverige men bidrag till fortsatt fusionsforskning är inte lika klara.
- a) Varför är det så svårt att göra fusion i ett lab, något som miljardtals stjärnor kan?
 - b) Vad skulle de stora fördelarna med fusionskraft vara jämfört med den kärnkraft vi har i dag?
- 6.21 När vätet i solens kärna tar slut stannar energiproduktionen upp och sjunker ihop av gravitationen.

- a) Vad blir konsekvensen av det för reaktionerna i solens inre?
- b) Vad blir den synbara förändringen på solen utifrån sett?
- c) Hur kommer solens position i HR diagrammet att ändras?

6.22 Vad menas med

- a) proton-proton-kedjan
- b) Trippel-alfa-processen
- c) astrometrisk dubbelstjärna
- d) fotometrisk dubbelstjärna
- e) planetarisk nebulosa
- f) kolstjärna
- g) skalförbränning
- h) konvektion
- i) differentiell rotation
- j) solfläck
- k) korona
- l) visuell dubbelstjärna
- m) fotosfär
- n) granulation

6.23 Vad är det som ger upphov till att skalförbränningen startar?

6.24 Trippel-alfaprocessen kan starta på två olika sätt beroende på hur stor stjärnan är. Hur kommer den att starta för solen?

6.25 Blir små eller stora stjärnor äldst?

6.26 Vad menas med visuella, astrometriska, fotometriska respektive spektroskopiska dubbelstjärnor?

- 6.27 a) Ett dubbelstjärnepar roterar kring varandra så att vi från solsystemet kan se dem rakt uppi-från alltså vinkelrätt mot stjärnornas banor kring varandra. Som vilka av de fyra typerna av dubbelstjärnor nämnda i fråga 6.26 kan de eventuellt ses från jorden?
- b) Ett dubbelstjärnepar roterar kring varandra så att solsystemet ligger i deras banplan. Som vilka av de fyra typerna av dubbelstjärnor nämnda i fråga 6.26 kan de eventuellt ses från jorden?

6.28 I studiet av dubbelstjärnor är man ofta intresserad av att få fram massan av stjärnorna. Det är intressant mer än själva allmänintresset att få reda på stjärnornas massor, speciellt om det är huvudseriestjärnor. Varför?

6.29 Bland variabla stjärnor är cepheidvariabler särskilt intressanta, varför?

Exempel 11. En cepheid under en längre tid och man ser att den apperenta magnituden är i medel $m = 20$ och runt denna varierar den med en period på 20 dagar. Från sambandet mellan period och magnitud för cepheider får man då att absoluta magnituden är ca $M = -5$. Beräkna avståndet till cepheiden.

Lösning: Förhållandet mellan apperent och absolut magnitud ges av

$$m - M = 5 \log \frac{r}{10 \text{ pc}}$$

från vilken vi kan lösa ut r

$$r = 10 \cdot 10^{\frac{m-M}{5}} \text{ pc} = 10 \cdot 10^{\frac{20-(-5)}{5}} \text{ pc} = 10^6 \text{ pc} = 1 \text{ Mpc}.$$

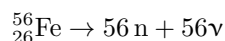
6.30 Typstjärnan för cepheidvariabler är δ -Cephei. Den varierar i apperent magnitud mellan 3,48 och 4,37 med en period på 5,36634 dagar. I medeltal är den apperenta magnituden 4,07 och den absoluta -3,47. Parallaxen för δ -Cephei har uppmätts av Hubble Space Telescope (HST) till 3,66 milli-bågsekunder (0,003 6") Beräkna avståndet till δ -Cephei:

- a) Genom att använda magnituderna.
- b) Genom att använda parallaxen.

- 6.31 Avståndet till klotformiga stjärnhopar kan oftast bestämmas med hjälp av RR Lyraevariabler. I stjärnhopen M3 finns det en mängd sådana. De har apparenta magnituder i medel 15,6. Beräkna avståndet till M3.
Lösning på sid 40.
- 6.32 Beroende på hur stor den är kommer en stjärna att sluta på ett av tre sätt. Vilka är de och vilket av de tre sätten blir slutstadium för de minsta respektive största stjärnorna?
- 6.33 Både små och stora stjärnor kastar ifrån sig en stor del av sin massa i en explosion innan de når sitt slutstadium. Vad kallas detta för små respektive stora stjärnor?
- 6.34 Att bli en vit dvärg behöver inte betyda slutstadiet för en stjärna, det finns ett möjligt dramatiskt händelseförlopp om den är del i en dubbelstjärna, beskriv detta.

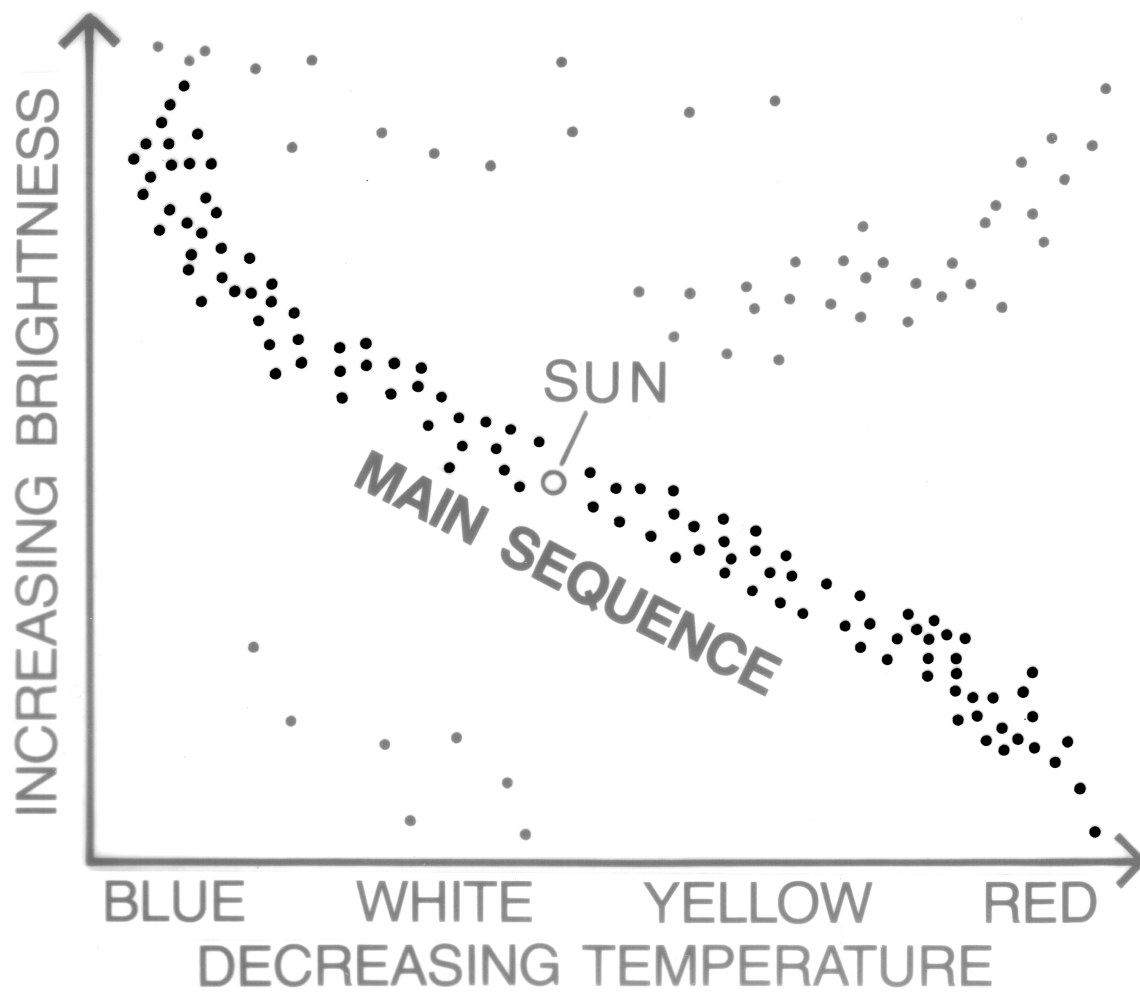
7 Stjärnornas slutstadier

- 7.1 Vad menas med
- vit dvärg
 - svart hål
- 7.2 Stjärnor kan beroende på hur stora de varit sluta som tre olika slutprodukter. Vad består de av och ungefär hur stora är de?
- Vita dvärgar,
 - neutronstjärnor,
 - svarta hål.
- 7.3 Rita in solens fortsatta utveckling i HR-diagrammet i figur 9. Markera följande händelser i utvecklingen.
- Skalförbränning av väte startar.
 - Heliumflash
 - Skalförbränning av helium startar.
 - Planetarisk nebulosa bildas.
 - Skriv in vad de tre grenarna mellan dessa punkter kallas.
 - Vilken eller vilka nukleära processer pågår i var och en av dessa tre grenar?
- 7.4 Varifrån kommer energin som gör att vita dvärgar lyser?
- 7.5 Stora stjärnor fortsätter efter trippel-alfa processen med att bygga upp allt tyngre grundämnen i kärnan till en viss gräns.
- Vilket är det sista grundämne som kan bildas i stjärnans inre?
 - Varför kan inte tyngre grundämnen bildas?
- 7.6 Vid skalförbränning i stjärnor startar nya kärnreaktioner av tyngre ämnen i centrum av stjärnan varefter dessa ämnen bildas. Vad händer med stjärnan när det samlats ämnen som inte stjärnan förmår starta en ny nukleosyntes med?
- 7.7 Supernovor används för att bestämma avståndet till andra galaxer. Beskriv hur det går till.
- 7.8 Efter en supernova bildas det restprodukter. Vilka är dessa restprodukter från kärnan respektive de yttre delarna av stjärnan?
- 7.9 När en tung stjärnas kärna består till stor del av järn-56 går den genom en kollaps som omvandlar järn först till helium och vidare till neutroner. Nettoreaktionen blir



Atommassan för järn-56 är $9,288213299 \cdot 10^{-26}$ kg och för fria neutroner $1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg. Hur mycket energi omsätts i omvandlingen från järn-56 till neutroner? Frigörs eller absorberas energi av reaktionen? Jämför med ditt resultat på uppgift 6.4.

Lösning på sid 40.

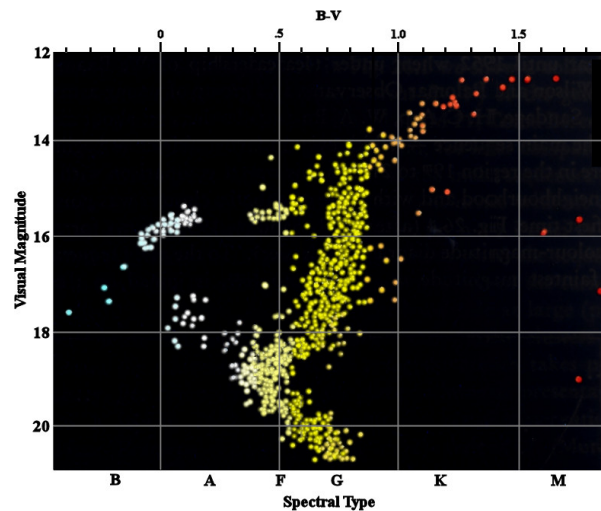


Figur 9: HR-diagram till uppgift 7.3. Från [Wikimedia Commons](#).

- 7.10 Teorin säger att en vit dvärg ska svalna eftersom den inte har någon energiförsörjning kvar och bli en svart dvärg. Någon svart dvärg har man inte upptäckt men det anses inte vara något problem för den teorin, varför inte?
- 7.11 Eftersom rotationsmomentet hos en stjärna som drar ihop sig till en vit dvärg eller neutronstjärna måste bibehållas kommer rotationshastigheten att öka.
- Ungefär hur snabbt roterar en neutronstjärna?
 - Neutronstjärnor skickar ofta ut koncentrerad strålning längs sin magnetiska axel. Om jorden ligger rätt till så att den träffas av den strålningen kan man se stjärnan och hur fort den roterar, vad kallas de?
 - Neutronstjärnor har precis som vita dvärgar inte längre någon egen energiproduktion. Ändå kan de stråla ut mer energi i rymden än de förlorar i värmeinnehåll. Vad kommer denna extra energi från?
- 7.12 Vad menas med
- händelsehorisont
 - kärnstuds
 - supernova
 - Chandrasekhar massa
 - Schwarzschildradie
- 7.13 Vita dvärgar är ganska ljussvaga och svarta hål sänder inte ut något ljus alls. Hur kan man oftast påvisa att de finns?
- **7.14 Steven Hawking har visat på att det finns en möjlighet att svarta hål kanske inte är helt svarta och kan sända ut strålning och till och med dunsta bort i världsrymden. Vad kallas den hypotetiska strålningen och hur skulle den kunna komma ut ur hålet?

8 Stjärnbildning och det interstellära mediet.

- 8.1 Vad menas med interstellär?
- 8.2 De första stjärnorna som bildades i universum bildades i stort sett helt av två grundämnen. Stjärnor som bildas senare har en viss inblandning av tyngre grundämnen både de som är lättare och tyngre än järn-56.
- Av vilka två ämnen och i vilka proportioner bildades de första stjärnorna?
 - Var kommer övriga ämnen lättare än järn-56 huvudsakligen ifrån?
 - Var kommer de tyngre från?
- 8.3 Stjärnor bildas av stora plasmamoln som drar ihop sig.
- Vad har det för betydelse för stjärnbildningen när molnet inte längre är genomskinligt för InfraRött (IR)-strålning?
 - Varför är det just IR-området som är intressant?
 - Det är när molnet inte längre är genomskinligt för IR-strålning som man ser det som en källa i just InfraRött vilket verkar motsägelsefullt, förklara.
 - Molnet kommer att plattas ut när det drar ihop sig, varför?
 - När den blivande stjärnan blivit så varm att kärnreaktioner startar kallas den "pre-main-sequence"-stjärna, var är den då i HR-diagrammet, d. v. s. vad har den för temperatur, storlek och ljusstyrka i förhållande till andra stjärntyper?
 - Varifrån kommer den största delen av stjärnans energi under detta stadium?
 - Den sammandragande stjärnan blir hetare och hetare tills den kommer till huvudserien i HR-diagrammet, då kommer den i stort sett i jämvikt för miljarder år. Vad är det som händer då?
- 8.4 Vilka stjärnor bildas snabbast, stora eller små?
- 8.5
- Hur uppkommer ljuset som man ser i emissionsnebulosor respektive reflektionsnebulosor?
 - Vilken av dem har högst temperatur?
- 8.6 Ur vilken typ av nebulosor bildas stjärnor?



Figur 10: HR-diagram för M3. Ill.: Wikimedia commons användare [RJHall](#) Från [Wikimedia Commons](#).

- *8.7 a) Förklara skillnaden mellan rödfärgning och rödförskjutning.
 b) Hur påverkas färgindex av rödfärgning resp rödförskjutning.
 c) Hur påverkas spektrallinjens våglängd av rödfärgning respektive rödförskjutning?
- 8.8 Hur kan man upptäcka neutralt väte i det interstellära mediet?

9 Vintergatan

- 9.1 a) I vilken stjärnbild befinner sig vintergatans centrum?
 b) I vilken stjärnbild befinner sig vintergatans norra galaktiska pol?
 c) I vilken arm av Vintergatan befinner sig solsystemet?
- 9.2 a) Hur stort är förhållandet mellan Vintergatans diameter och skivans tjocklek?
 b) Vad menas med vintergatans halo?
- 9.3 a) Varför bildas mest nya stjärnor i Vintergatans armar?
 b) Vad är skillnaderna mellan öppna och klotformiga stjärnhopar?
 c) Hur kan man bestämma åldern på en stjärnhop?
- 9.4 Åldern på stjärnhopar kan bestämmas genom att se hur stora stjärnor som finns kvar på huvudserien eftersom de största stjärnorna lämnar huvudserien först. Figur 10 visar ett HR-diagram för stjärnhopen M3. Man kan tydligt se i bilden att stjärnor upp till spektralklass F finns kvar på huvudserien.
- a) Det finns samband mellan spektralklass, B-V färgindex och temperatur för stjärnor på huvudserien. Uppskatta från tabell 5.3 på sid 140 i boken hur stor effektiv temperatur de största huvudseriestjärnorna i M3 har.
- b) Sambandet mellan stjärnors effektiva temperatur och livslängd på huvudserien finns sammanfattat i tabell 6.2, på sid 159 i boken. Hur stora är de största huvudseriestjärnorna i M3 enligt tabell 6.2?
- c) Hur länge stannar dessa på huvudserien?
- d) Hur gammal är stjärnhopen M3?
- e) Magnitudvärdena i figur 10 stämmer inte alls överrens med de i tabell 5.3 i boken. Vad avses med de respektive siffrorna?
- 9.5 a) Hur stor andel av den materia man tror finns i Vintergatan känner vi till vad det är?
 b) Varför tror man att det finns materia i Vintergatan som vi inte kan se?
 c) Nämn några kandidater till mörk materia.
 d) Kandidaterna till mörk materia är antingen partiklar, som vi inte kan upptäcka eller vanlig materia som är i sådan form att vi inte kan se den (svarta hål, planeter, svarta dvärgar...). Vad kallas dessa två typer?

9.6 Vad tror man finns i Vintergatans centrum? Hur har man kommit fram till det?

10 Galaxer

10.1 Med vilka metoder kan man bestämma avståndet till galaxer?

- 10.2 a) Vilka är de tre huvudtyperna av galaxer?
b) Hur betecknas de?
c) I vilka bildas nya stjärnor?
d) Vad menas med centralförtätning?
e) Vilka är våra närmsta galaxgrannar?

- 10.3 a) Vad menas med galaxgrupp?
b) Vad menas med galaxhop?
c) Vad menas med superhop?
d) Vilken är vår galaxgrupp?
e) Vilken är vår närmsta galaxhop?

- 10.4 a) Beskriv en Kvasar.
b) Varför tror man att alla kvasarer uppvisar stor rödförskjutning?
c) När i universums historia var de vanligast?

11 Universums tidiga historia

11.1 Vad menas med

- a) kosmologiska konstanten
b) Big Bang
c) kosmisk bakgrundsstrålning
d) kosmologiska principen
e) sfäriskt rum

11.2 Den tidigare rådande bilden av att universum är statiskt, d. v. s. lika stort som det alltid varit, antagligen oändligt, kullkastades av observationer gjorda av Edwin Hubble.

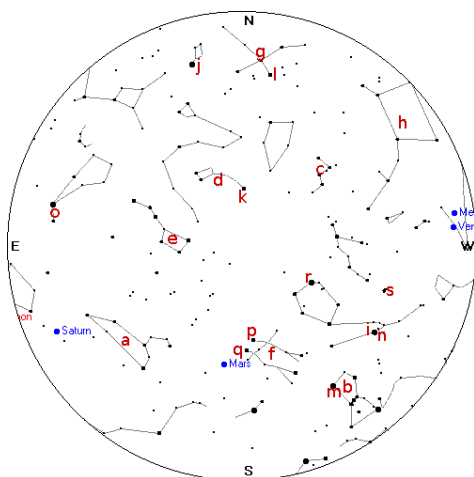
- a) Vad var hans stora upptäckt?
b) Formulera Hubbles lag.
c) Andromedagalaxen uppvisar blåförskjutning. Förklara varför det inte strider mot Hubbles lag.

- 11.3 a) Vilka tre olika möjliga geometrier finns för universum?
b) Vilken av dem har universum om densiteten är större än den kritiska densiteten?
c) Om man idag hypotetiskt hittar något objekt man kan bestämma absoluta ljusstyrkan för längre bort än tidigare sådana objekt och de visar sig synas ljusstarkare än vad man förväntar sig från Hubbles lag och rödförskjutningen till dem, vilken geometri skulle det peka på att universum har?
d) Varför har man känt sig tvingade att införa mörk energi för att förklara universum?

Lösning på sid 40.

- 11.4 a) Från vilken händelse i universums utveckling härstammar den kosmiska bakgrundsstrålningen vi kan se idag?
b) Hur hög var medeltemperaturen i universum då?
c) Bakgrundsstrålningen är svartkroppsstrålning från den tiden. Beräkna vid vilken våglängd den var som mest intensiv.
d) Den har rödförskjutits 1100 gånger sedan dess. Vid vilken våglängd är den mest intensiv idag?
e) Bakgrundsstrålningen ger idag det noggrannaste måttet på universums ålder. Hur gammalt är universum enligt den metoden?

Facit



1.1

1.2 a) Rigel, β Ori

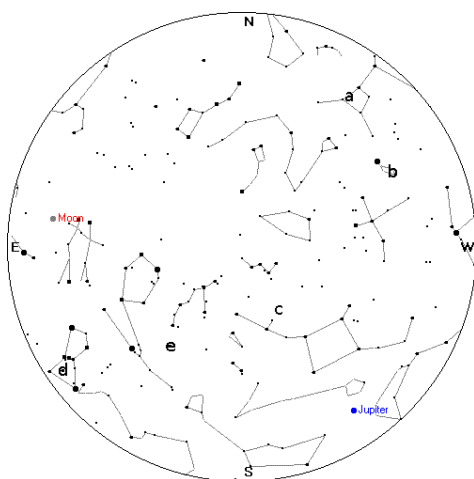
b) 0,38

c) $I_\alpha/I_\beta = 0,70$ ($I_\beta/I_\alpha = 1,42$)

1.3 7,3

1.4 a) kometer

b) Alla objekt som i hans kikare kunde förväxlas med kometer.



1.5

1.6 a) Örnen

b) Räven

c) Svanen

2.1 a) Jordens ekvator projicerad på himmelsfären.

b) Skärningen mellan en sfär och ett plan genom dess centrum.

c) Skärningen mellan ekliptikan och himmelsekvatorn.

d) Atmosfäriska störningar för observationer.

e) Atmosfären är genomskinlig för synligt ljus.

f) Atmosfären släpper obehindrat igenom radiostrålning av många våglängder.

g) Diametern på ett teleskops objektiv.

h) En stjärnas ljusstyrka.

i) Variation i jordaxelns lutning.

j) Teleskop som är monterade så att de kan svängas runt en axel som är parallell med jordens rotationsaxel.

k) Vinkel från himmelsekvatorn mot himmelspolen.

l) Vinkel längs himmelsekvatorn.

m) linsteleskop

n) 3,26 ljusår

o) 10^{-10} m

p) En himlakroppsförflyttning på himlen pga att den rör sig genom rymden.

q) En himlakroppsförflyttning på himlen när jorden rör sig i sin bana.

r) Jordens rotationstid kring sin axel.

2.2 a) $\alpha = 19^h 51^m$, $\delta = +8^\circ 52'$.b) $\alpha = 20^h 34^m$, $\delta = +28^\circ 17'$.c) $\alpha = 20^h 56^m$, $\delta = +31^\circ 43'$.

Alla i ekvatoriella systemet.

2.3 a) horisonten

b) syd

c) himmelsekvatorn

d) vårdagjämningpunkten

2.4 Latituden kan bestämmas genom att man mäter höjden för polstjärnan en godtycklig tid på dygnet eller en annan godtycklig känd stjärnas högsta eller lägsta höjd under natten. För att bestämma longitud måste man kunna relatera stjärnornas positioner till Greenwich Mean Time (GMT) och det var inte möjligt innan man hade tillförlitliga klockor.

2.5 1 dygn

2.6 a) Gravitationskrafter från solen och månen.

b) 26 000 år

2.7 a) 1800"

b) Se lösningsförslag.

c) r står för avståndet i parsek (pc). p står för parallaxen i bågsekunder.

d) 4,0 pc

e) 13,4 ljusår

2.8 0,0501"

2.9 a) $v_t = 19$ km/sb) $v = 57$ km/s

2.10 a) 4,0 pc

- b) 20 pc
c) $0,25''/\text{år}$
d) 24 km/s
- 2.11** a) -24 km/s
b) mot oss
c) 34 km/s
- 2.13** a) Jordens ekvator projicerad på himmelsfären.
b) Skärningen mellan en sfär och ett plan genom dess centrum.
c) Skärningen mellan ekliptikan och himmelsekvatorn.
d) Atmosfäriska störningar för observationer.
e) Atmosfären är genomskinlig för synligt ljus.
f) Atmosfären släpper obehindrat igenom radiostrålning av många våglängder.
g) Diametern på ett teleskops objektiv.
h) En stjärnas ljusstyrka.
i) Variation i jordaxelns lutning.
j) Teleskop som är monterade så att de kan svängas runt en axel som är parallell med jordens rotationsaxel.
k) Vinkel från himmelsekvatorn mot himmelspolen.
l) Vinkel längs himmelsekvatorn.
m) linsteleskop
n) 3,26 ljusår
o) 10^{-10} m
p) En himlakroppsförflyttning på himlen pga att den rör sig genom rymden.
q) En himlakroppsförskjutning på himlen när jorden rör sig i sin bana.
r) Jordens rotationstid kring sin axel.
- 2.14** Från kort till lång våglängd:
1 gamma
2 röntgen
3 ultraviolett
4 violett
5 grön
6 röd
7 infraröd
8 radio
- 2.15** Man slipper störningar från atmosfären och man kan göra observationer i våglängder som inte passerar atmosfären.
- 2.16** a) Man ska välja 60,0 mm .
b) Förstoringen blir 33 ggr .
- 2.17** a) $0,56''$
b) 312,5 ggr
c) Alt-azimutal montering innebär att teleskopet är monterad med en axel mot zenit och den andra horisontellt. Ekvatoriell montering innebär att en axel är monterad parallellt med jordaxeln och den andra vinkelrätt mot den.
- 2.18** a) 85 ggr
b) 30 mm
c) 60 mm
d) 50 ggr
e) $0,37''$
f) 3,7 AE
- 2.19** 60 km
- 2.20** Man kopplar ihop flera teleskop och observerar samma objekt i dem. Efteråt kan man lägga ihop signalerna om de är exakt timade med atomur. Då kan man få en upplösning som av ett teleskop som är lika stort som avståndet mellan de teleskop man använt, s. k. radiointerferometri.
- 2.21** Kromatisk aberration uppkommer av att olika färger bryts olika mycket i glas men för en spegel reflekteras allt ljus i samma vinkel oavsett våglängd.
- 2.22** För radiosignaler räcker det med att spela in signalen med hög precision och timing så kan man göra interferometri i efterhand. För optiska instrument måste själva ljuset speglas ihop så det bildas optisk interferometri. Det kräver enorm precision och kan bara göras på avstånd så att ljuset kan föras ihop med speglar.
- 3.1** a) Vanligast är väte
b) Det utgör 93 procent
- 3.2** (a) Jupiter $7 \cdot 10^7$ m
(d) Månbanan $4 \cdot 10^8$ m
(b) Solen $7 \cdot 10^8$ m
(e) Merkuriusbanan $6 \cdot 10^{10}$ m
(c) Betelgeuse $650 \cdot 7 \cdot 10^8 \text{ m} = 5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
(f) Jupiterbanan $8 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- 3.4** Solnebulosan plattades ut av centrifugalkraften och de flesta kroppar bildades ur den.
- 3.5** a) Stoft från kometer som ligger kvar i kometbanan.
b) Fragment från asteroider.
- 3.6** De flesta meteoriter kommer från asteroider som är differentierade. Järnmeteoriter kommer från de inre järnrika delarna och stenmeteoriter från de yttre.
- 3.7** Plasmasvansen innehåller joniserade atomer och molekyler. Stoftsvansen dammpartiklar.
- 3.8** Illustration a.

- 3.9 Jorden passerar en kometbana där det finns stoft från kometens tidigare passager.
- 3.10 En trojan. (Omloppstiden är lika som Jupiters.)
- 3.12 a) L1 ligger en bit innanför planeten där planetens dragningskraft till viss del upphäver solens och den effektiva centripetalkraften blir något lägre och ger en bana med mindre radie på samma omloppstid. L2 ligger något utanför planetbanan där planetens och solens gravitation samverkar. L3 ligger mitt emot planeten i planetbanan.
 b) L1 används till observationsplattformar för att studera solen som t. ex. Solar and Heliospheric Observatory (**SOHO**). L2 ligger i skugga bakom jorden hela tiden och används till observationsplattformar för mätningar av yttre rymden som t. ex. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (**WMAP**). I L3 och L4 finns inga trojaner men en del ansamlad damm.
 c) L4 och L5 innehåller Trojaner medans L1-L3 inte är tillräckligt stabila för att hålla kvar naturliga kroppar över tiden så där finns inga särskilda ansamlingar.
- 3.13 a) Pluto
 b) Den är gravitationellt bunden till Neptunus i en 2:3 resonans.
- 3.14 a) jordbanans plan
 b) Två planeter ligger i linje med varandra längs samma radie från solen.
 c) reflexionsförmåga
 d) Turbulent atmosfärslager som värms av planetytan underifrån.
 e) Stabilt atmosfärslager som värms av solinstrålning uppifrån.
 f) Den punkt på banan som är närmast solen.
 g) En himlakropp spinner kring sin egen axel i motsatt riktning till sin bana.
 h) Temperaturskala för absolut temperatur.
 i) Solförmörkelse vid ett tillfälle då jorden är långt in i sin elliptiska bana och månen långt ut i sin elliptiska bana. Månen upptar då en mindre vinkel än solen och täcker inte hela solskivan så att solen bildar en ring runt månen.
- 3.15 a) Venus
 b) Merkurius
 c) Mars
 d) Jorden
 e) Mars
- f) Venus
- 3.16 Ny, första kvarteret, fullmåne, sista kvarteret.
- 3.17 Olympus Mons
- 3.18 Merkurius har ingen atmosfär att tala om, Venus – koldioxid, Jorden – Kvävgas, Mars – koldioxid.
- 3.19 116 dygn
- 3.20 23°
- 3.21 43 dygn
- 3.22 27,32 dagar
- 3.23 första kvarteret
- 3.27 a) Ett tomrum i Saturnus ringar.
 b) Jupiters fyra stora månar.
- 3.28 Vätet i planeternas inre är till större del metalliskt i Jupiter.
- 3.29 a) Jupiter
 b) Jupiter
 c) Jupiter
 d) Jupiter
 e) Mars
 f) Saturnus
 g) Neptunus
- 3.30 a) Titan
 b) Ganymedes
 c) Io
 d) Triton
- 3.31 Jorden och Io
- 3.32 Uranus
- 3.37 a) Från solsystemets bildande.
 b) Från solsystemets bildande.
 c) De flesta är stoft från kometer som ligger kvar i kometbanan, större kan komma från asteroider. (I vid mening är meteor något som finns i luften, varav det mesta har jordiskt ursprung. Studiet av dessa är en egen vetenskap — meteorologi.)
 d) Kollisionsfragment från asteroider.
- 3.38 Io, Europa, Ganymedes och Callisto.
- 3.39 Asteroidbältet mellan Mars och Jupiters banor.
- 3.40 a) koldioxid
 b) kvävgas
 c) koldioxid
 d) vätgas
 e) kvävgas
- 3.41 27,3 dygn (bunden rotation)

- 3.42 Olympus Mons
- 3.43 Enligt boken Pluto. Sedan boken trycktes har Eris visat sig vara större.
- 3.44 Järnmeteoriter (eller sten-järnmeteoriter).
- 3.45 a) Kometen Tempel-Tuttle.
b) De ser ut att komma från stjärnbilden Lejonet (Leo).
- 4.1
- 4.2 a) nära, $v \propto 1/\sqrt{a}$
b) långt ifrån, $r_* \propto a$
- 5.1 a) absorberar all inkommande strålning
b) Beskriver sambandet mellan mest intensiva våglängden och temperaturen för en svartkropp.
c) En ytas utstrålning per ytenhet.
d) En stjärnas totala utstrålning.
e) Ljus utsänt från exiterade atomer.
f) Vissa våglängder ljus upptas av en gas ljuset passerar.
g) andelen grundämnen tyngre än helium
- 5.2 a) Flux är en utstrålningen från en yta per ytenhet, luminositet den totala utstrålningen från en kropp över hela ytan och absolut magnitud en negativ logaritm av detsamma.
b) Absolut magnitud är ett mått på den verkliga ljusstyrkan för en stjärna. Apparent magnitud är ett mått på hur ljusstark den upplevs på himlen vilket förstås beror mycket på hur långt det är till stjärnan.
- 5.3 Ett objekt som absorberar all inkommande strålning.
- 5.4 a) 4429 K , $7,43 \cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
b) orange jätte, K
c) 654 nm
d) Man tar då inte med den infraröda delen av spektret, den kan man ju till största delen inte se. Eftersom Arcturus är en svalare stjärna är en större del av strålningen infraröd och därför räknas en stor del av luminansen bort.
- 5.5 a) $R = 5900\text{ km}$, 92 % av jordens radie.
b) $1,7\text{ ton/cm}^3$
c) blåvit dvärg
- 5.6 $2,05 \cdot 10^{28}\text{ W} = 53L_{\odot}$
- 5.7 a) den mindre
b) den större
- 5.8 $63,3\text{ kW/m}^2$
- 5.9 G2
- 5.10 a) ultraviolett
b) visuellt
c) infrarött
- 5.11 Det kan ses på två sätt: 1) En foton som kommer från underliggande lager är på väg utåt. Efter en absorption-återemmissionsprocess är den på väg i en slumpvis riktning d.v.s. många är på väg inåt stjärnan igen och kan inte ses. 2) Utanför absorptionsvåglängderna är gasen genomskinlig och vi ser den hetare underliggande ytan som har högre intensitet. I en absorptionsvåglängd är den inte genomskinlig och den strålning vi ser är från det yttre svalare lagret som ger lägre intensitet.
- 5.12 Den med 0.
- 5.13 a) $13,6\text{ km/s}$
b) mot oss
c) Ja, jordens hastighet i banan är 30 km/s .
d) $656,242\text{ nm}$
e) $7,75\text{ pc}$
f) $11,1\text{ km/s}$
g) $17,5\text{ km/s}$
- 5.14 a) Vätet är nästan helt joniserat. Helium kräver högre temperatur för total jonisation och det finns därför mer He^+ än H.
b) De flesta fotoner har låg energi och absorberas lättare av ämnen med lägre excitationspotential.
- 5.15 På huvudserien.
- 5.16 Ljusstarka stjärnor syns bra på himlen och är kända.
- 5.17 Luminositeten ökar uppåt, temperaturen och därmed fluxen sjunker åt höger. Uppe i högra hörnet är alltså stjärnor som har hög luminositet men låg flux. Eftersom luminositet är den totala fluxen över hela ytan måste de vara stora.
- 6.1 Från fusionsprocesser främst proton-protonkedjan.
- 6.2 I kärnan, solens centrum.
- 6.3 De andra kräver högre temperatur.
- 6.4 a) $4,32 \cdot 10^{-12}\text{ J}$
b) $9,0 \cdot 10^{37}$
c) $6 \cdot 10^{11}\text{ kg}$
d) 9,5 %
- 6.5 a) 25 %

- b) 2%
- 6.6 a) strålning
b) strålning
c) konvektion
- 6.7 Det är fotosfärens temperatur. Strålningen från underliggande lager kommer inte ut genom fotosfären. Strålningen från kromosfären och koronan kommer förvisso hit men är väldigt svag i jämförelse.
- 6.8 Fotonerna absorberas i kromosfären och emitteras i alla riktningar. Mot solens yta syns det som absorptionslinjer eftersom en del sprids bort, medans det spridda ljuset syns som emissionslinjer mot den mörka rymden under solförmörkelse.
- 6.9 a) Gasen i konvektiva zonen bubblar upp mot ytan. Bubblorna som kommer upp är hetare än ytskiktet och lyser skarpare som ljusa fläckar.
b) Den uppåtgående gasen i mitten av granulerna är ljusast. Mellan granulerna bildas ett nätmönster av svalare gas som sjunker neråt.
- 6.10 Dopplärförskjutning av strålningen.
- 6.11 Neutrinostrålning
- 6.12 Fotosfären
- 6.13 I fotosfären, närmare bestämt i solfläckar.
- 6.14 Solvinden
- 6.15 Den har differentiell rotation och roterar ett varv på 35 dygn vid polerna och 25 dygn vid ekvatorn.
- 6.16 a) De är svalare.
b) Konvektionen av hetare gas underifrån hindras av magnetfältet som tränger upp genom ytan.
c) Magnetfältet bildar en ögla och måste både gå upp och ner genom solytan.
- 6.17 Solens magnetfält har bytt polaritet efter 11 år och först när den bytt tillbaks är hela cykeln fullbordad.
- 6.18 Vi befinner oss i minimum. Solens aktivitet har inte varit så låg som nu på flera hundra år och nästa solcykel borde redan ha startat enligt förutsägelserna.
- 6.19 a) Man detekterar bara en tredjedel så många neutriner som solforskarna förutsäger.
- b) Att neutrinen har massa. Om de har det kan de nämligen enligt teorin byta "smak" mellan tre olika varav bara en är synlig för neutrinodetektorn.
- 6.20 a) Man måste kombinera enormt hög temperatur och högt tryck.
b) I praktiken outtömlig bränslereserv (väte) och lite radioaktiva restprodukter.
- 6.21 a) Kärnan kollapsar, skalförbränning startar.
b) Stjärnan expanderar och svalnar.
c) Den flyttar ut på röda jättegrenen
- 6.22 a) Fusionsprocess av väte som ger helium.
b) Fusionsprocess av helium som ger kol.
c) Ett par där man bara kan se en av stjärnorna men kan se att den rör sig i en bana kring den gemensamma tyngdpunkten.
d)
e) Rest av en mindre stjärna som dött.
f) Stjärna på AGB med mycket djup konvektion.
g) Flera olika kärnprocesser sker i olika regioner kring kärnan i en stjärna.
h) energitransport genom gasströmning
i) ekvatorn och polerna roterar med olika hastighet
j) svalt område på solen orsakat av magnetfält
k) solens yttre atmosfär
l) Ett dubbelstjärnepar som kan upplösas i teleskop.
m) synliga skiktet av en stjärna
n) mönster i fotosfären
- 6.23 Väte tar slut i kärnan som kollapsar.
- 6.24 Med heliumflash.
- 6.25 små
- 6.26 Visuella: Ett dubbelstjärnepar som kan upplösas i teleskop. Astrometriska: Ett par där man bara kan se en av stjärnorna men kan se att den rör sig i en bana kring den gemensamma tyngdpunkten. Fotometriska: Ett par som syns längs banplanet så att de passerar och förmörkar varandra. Spektroskopiska: Ett par där man kan se att en eller båda rör sig via mätningar av dopplärförskjutning.
- 6.27 a) Visuella och astrometriska.
b) Samtliga
- 6.28 Det är den enda direkta mätningen av stjärnors massor man kan göra. Det är genom att bestämma massorna hos dubbelstjärnor man har kunnat ta fram modeller för hur stjärnor är uppbyggda.

- 6.29** Det finns ett samband mellan perioden och den absoluta magnituden. Så genom att mäta upp den apparenta magnituden får man direkt avståndet till stjärnan.
- 6.30** a) 322 pc
b) 375 pc
Skillnaden beror på extinktion i rymden mellan solsystemet och δ -Cephei som gör att inte allt ljus når till jorden. Den uppmätta parallaxen ger det rätta avståndet.
- 6.31** 10 kpc
- 6.32** Vit dvärg för minsta stjärnor, neutronstjärnor för medelstora och svarta hål för stora stjärnor.
- 6.33** Små stjärnor — planetarisk nebulosa, stora stjärnor — supernova.
- 6.34** Den vita dvärgen kan dra till sig materia från sin dubbelstjärnpartner tills den blir större än Chandrasekhar massan och exploderar i en supernova tyb 1a.
- 7.1** a) restprodukt av en liten stjärna
b) restprodukt av en stor stjärna
- 7.2** a) Degenererad materia främst kol och syre. Storlek som jorden.
b) neutroner, ett tiotal km.
c) Troligen en singularitet, all massa i en enda punkt utan utsträckning med oändlig densitet utan någon struktur.
- 7.3** Se figur 6.14 (s. 155) i Lagerkvist.
- 7.4** En vit dvärg består av kärnan från en stjärna och var mycket het när den bildades. Den svalnar succesivt för att den inte har någon energiomsättning men det går långsamt.
- 7.5** a) Järn-56
b) Järn-56 har den lägsta bindningsenergin av alla atomkärnor, därefter måste man tillföra energi för att få tyngre grundämnen.
- 7.6** Kärnan kollapsar
- 7.7** Alla supernovor av en viss typ når samma ljusstyrka. Genom att jämföra med den uppmätta ljusstyrkan kan man räkna ut avståndet.
- 7.8** Kärnan bildar en neutronstjärna eller ett svart hål av kärnan beroende storleken av ursprungsstjärnan och en nebulosa av resten.
- 7.9** $-8,21 \cdot 10^{-11} \text{ J}$
- 7.10** Enligt teorin ska det ta så lång tid att det kanske inte hunnit bildas någon i hela universum.
- 7.11** a) Tiotals varv per sekund.
b) pulsarer
c) Rotationen saktar ner.
- 7.12** a) Den yta runt ett svart hål där ingenting längre kan komma undan det, inget ljus kommer ut.
b) När kärnan i en blivande supernova kollapsat kollapsar även resten av stjärnan och studsar ut igen mot den nu hårda kärnan, ett extremt snabbt förlopp.
c) Explosionsartade slutet för en stor stjärna.
d) Övre gränsen för neutronstjärnors massa.
e) Avståndet från ett svart håls centrum till händelsehorisonten
- 7.13** De påverkar omgivningen med sin gravitation. Vita dvärgar syns ofta i dubbelstjärnor där den andra parten rör sig på samma sätt som man letar efter exoplaneter. Svarta hål kan uppträda som gravitationslinser så att man ser att de böjer ljuset från stjärnor bakom och så kan man se snabbt accelererande gas som håller på att sväljas av det svarta hålet.
- 7.14** Hawkingstrålning skulle kunna uppstå genom att det bildas partikel-antipartikelpar just vid händelsehorisonten och att den strålning som uppkommer när de förintas mot varandra igen bildas just vid händelsehorisonten och därför kommer ut.
- 8.1** Mellan stjärnorna.
- 8.2** a) 75% väte, 25% helium.
b) Kärnprocesser i stjärnor.
c) Kärnprocesser vid supernovautbrott.
- 8.3** a) Energin som frigörs från gravitationen när molnet drar ihop sig kan inte stråla ut direkt i rymden utan absorberas och blir kvar i molnet som värms upp. Precis på samma sätt som jordens växthuseffekt som kommer av att atmosfären inte är genomskinlig i IR.
b) Det som är intressant är om strålningen som bildas i materien kommer ut och för molnet som är kallt är det långa våglängder. Om det blivit ogenomskinligt för ännu längre våglängder runt mm hade det haft ännu större betydelse.
c) Det är då det börjar bli varmare, med högre temperatur blir svartkroppsstrålningen kortvågigare och mer av den blir infraröd.

- d) Centrifugalkraften.
- e) Det är fortfarande en sval stjärna jämfört med de av samma massa som är på huvudserien, de har inte dragit ihop sig färdigt och är stora, men den stora energiomvandlingen från kontraktionen gör förvånansvärt nog att de är ganska ljusstarka. De befinner sig alltså bland de röda jättarna (vilket den ju åter kommer att bli ett kort tag innan den dör).
- f) Omvandlat av gravitationell energi från kollapsen av molnet.
- g) Proton-proton-kedjan av kärnreaktioner startar.
- 8.4** Stora bildas snabbast eftersom gravitationskrafterna är större.
- 8.5** a) Emissionsnebulosor sänder ut ljus för att de exiteras av UltraViolett (UV)-ljus från en het stjärna. Reflektionsnebulosor reflekterar ljuset från en stjärna.
b) Emissionsnebulosorna.
- 8.6** Mörka nebulosor även kallade extinktionsnebulosor eller Bokglobuler.
- 8.7** a) Rödfärgning uppstår genom att ljuset filtreras så att kortare våglängder försvinner, antingen genom absorption som i ett filter eller genom spridning i atmosfären eller ett stoftmoln. Rödförskjutning gör att ljuset registreras med längre våglängd av dopplärförskjutning.
b) Båda ger "rödare" färgindex.
c) Rödfärgning påverkar inte våglängderna, bara ljusets intensitet. Rödförskjutning förskjuter även linjer till längre våglängder.
- 8.8** 21 cm-strålning från elektronens spinflip.
- 9.1** a) Skytten
b) Berenikes hår
c) Orionarmen
- 9.2** a) 80/1
b) stjärnor och stjärnhopar som rör sig i banor utanför skivan.
- 9.3** a) Där finns mest gasmoln.
b) Öppna: unga stjärnor, löst bundna, i galaxarmarna. Klotformiga: gamla stjärnor, starkt bundna, finns i halon.
c) Genom att se hur stora huvudseriestjärnor det finns.
- 9.4** a) 7000 K
b) 1,5 solmassor
c) 2,7 miljarder år
d) 2,7 miljarder år
- e) Absolut magnitud i tabellen, apparent magnitud i HR-diagrammet.
- 9.5** a) 10%
b) rotationskurvan
c) Hypotetiska partiklar, neutriner, planeter, svarta hål, bruna dvärgar...
d) Baryonsk och icke-baryonsk mörk materia.
- 9.6** Ett supermassivt svart hål. Man kan se synkrotronstrålning och kan mäta stjärnors hastighet runt centrum.
- 10.1** HII-områden, klotformiga stjärnhopar, Tully-Fisherrelationen, Fundamentalplanet.
- 10.2** a) Elliptiska, spiraler och stavspiraler.
b) *Enummer 0-7, Sbokstav a-c, SBbokstav a-c*
c) Spiral och stavspiralgalaxer främst av c-typ.
d) Det tätare området i mitten av spiral och stavspiralgalaxer.
e) Magellianska molnen.
- 10.3** a) En ansamling av några galaxer som håller sig tillsammans av den gemensamma gravitationen.
b) En större ansamling av många fler galaxer och galaxhopar.
c) En ansamling av galaxhopar.
d) Lokala gruppen
e) Virgohopen
- 10.4** a) Storlek på det ljusaste området ljusvektor – ljusmånader, mycket ljusstarkare än galaxer, ger stark radiostrålning och kortvågig synkrotronstrålning.
b) De fanns bara för länge sedan, men existerar inte längre.
c) För drygt 10 miljarder år sedan.
- 11.1** a) Λ , en hypotetisk extra kraft om gör att universum expanderar, ingen vet vad den består av. Införd av Einstein i allmänna relativitetsteorin.
b) Universums födelse ur en singularitet, den nuvarande gängse teorin.
c) Svartkroppsstrålning som finns i hela universum sedan universum i stort blev genomskinligt för strålning.
d) Universum är på stor skala lika överallt.
e) Tredimensionella motsvarigheten i ett fyrdimensionellt rum till en sfärisk yta i ett tredimensionellt rum. En rät linje genom rummet kommer att återförenas med sig själv i en loop, som en storcirkel på ett klot.

- 11.2 a) Objekt som ligger på stora avstånd har rödförskjutning som växer med avståndet.
 b) $v = H_0 r$
 c) Hubbles lag gäller på mycket stora skalor inte inom en galaxhop.
- 11.3 a) Sfäriskt, platt och hyperboliskt.
 b) Sfäriskt
 c) Sfärsikt
- d) Universums totala massa, synlig och mörk ger ungefär 0,2–0,4 av den kritiska densiteten men observationer pekar mot att universums är ungefär platt.
- 11.4 a) Rekombinationen.
 b) 3000 K
 c) 1 μm
 d) 1 mm
 e) $13,7 \pm 0,2$ miljarder år.

Lösningar till utvalda uppgifter

- 1.2 a) Rigel, β Ori, apparent magnitud 0,12 är starkare än Betelgeuse, α Ori med apparent magnitud 0,50.
 b) $m_\alpha - m_\beta = 0,50 - 0,12 = 0,38$
 c) Förhållandet mellan intensitet och magnitud ges av

$$m = -2,5 \log I + C$$

från vilket man kan lösa ut I

$$\begin{aligned} \frac{m - C}{-2,5} &= \log I \\ I &= \frac{10^{\frac{m - C}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} \end{aligned}$$

Förhållandet mellan intensiteterna blir då

$$\begin{aligned} \frac{I_\alpha}{I_\beta} &= \frac{10^{\frac{m_\alpha}{-2,5}}}{10^{\frac{m_\beta}{-2,5}}} \\ &= 10^{\frac{m_\alpha - m_\beta}{-2,5}} \\ &= 10^{\frac{0,38}{-2,5}} \approx 0,70. \end{aligned}$$

- 1.3 Förhållandet mellan intensitet och magnitud ges av

$$m = -2,5 \log I + C$$

från vilket man kan lösa ut I

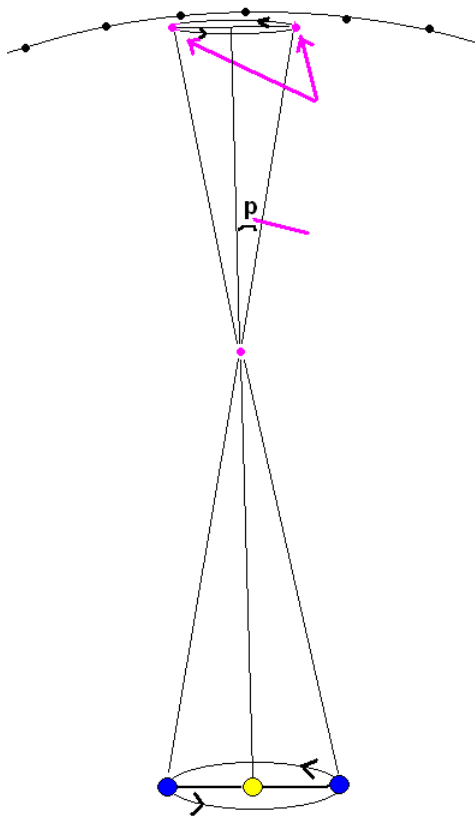
$$\begin{aligned} m - C &= -2,5 \log I \\ I &= \frac{10^{\frac{m - C}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} \end{aligned}$$

Om vi betecknar den sökta stjärnan med index 1 och referensstjärnan med r har vi

$$\begin{aligned} I_1 &= 0,08 I_r \\ \frac{10^{\frac{m_1}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} &= 0,08 \frac{10^{\frac{m_r}{-2,5}}}{10^{\frac{C}{-2,5}}} \\ 10^{\frac{m_1}{-2,5}} &= 0,08 \cdot 10^{\frac{m_r}{-2,5}} \\ 10^{\frac{m_1}{-2,5}} &= 10^{\log 0,08} \cdot 10^{\frac{m_r}{-2,5}} \\ 10^{\frac{m_1}{-2,5}} &= 10^{\frac{m_r}{-2,5} + \log 0,08} \\ \frac{m_1}{-2,5} &= \frac{m_r}{-2,5} + \log 0,08 \\ m_1 &= m_r - 2,5 \log 0,08 \\ &= 4,6 - 2,5 \log 0,08 = 7,3 \end{aligned}$$

2.5 Skillanden mellan soltid och stjärntid uppkommer av att jorden färdas en vinkel i sin bana mellan två dagar. Under ett år går jorden ett varv runt solen och den totala skillnaden måste alltså bli ett varvs rotation för jorden d.v.s. ett dygn.

2.7 a) $1^\circ = 3600'' \Rightarrow 0,5^\circ = 0,5 \cdot 3600'' = 1800''$



b)

c) r står för avståndet i parsek (pc). p står för parallaxen i bågsekunder.

d) Parallaxen är

$$p = 0,25'',$$

enligt parallaxformeln blir då avståndet

$$\begin{aligned} r &= \frac{1''}{p} \text{ pc} \\ &= \frac{1}{0,25} \text{ pc} = 4,0 \text{ pc}. \end{aligned}$$

e)

$$r = 4,0 \text{ pc} = 4,0 \cdot 3,26 \text{ ljusår} = 13,4 \text{ ljusår}.$$

2.8

$$r = 65,1 \text{ ljusår} = 65,1/3,26 \text{ pc} \approx 20 \text{ pc}$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{1''}{p} \text{ pc} \\ p &= \frac{1''}{r} \text{ pc} = \frac{1''}{65,1/3,26} = \frac{1'' \cdot 3,26}{65,1} = 0,0501'' \end{aligned}$$

2.9 a) Uttrycket för tangentialhastighet säger

$$v_t = 4,74 \mu r$$

med v_t i km/s μ i $''/\text{år}$ och r i pc. $\mu = 0,20''/\text{år}$ och enligt uppgift 2.8 är $r = 65,1/3,26 \text{ pc} \approx 20 \text{ pc}$.

$$v_t = 4,74\mu r = 4,74 \cdot 0,20 \cdot 65,1/3,26 \text{ km/s} = 19 \text{ km/s}$$

b)

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{19^2 + 54^2} \text{ km/s} = 57 \text{ km/s}$$

2.10 a) A rör sig bara i x-led i figuren 0,5'' mellan extremvärdena. Det ger en årlig parallax $p = 0,25''$. enligt parallaxformeln blir då avståndet

$$\begin{aligned} r &= \frac{1''}{p} \text{ pc} \\ &= \frac{1}{0,25} \text{ pc} = 4,0 \text{ pc}, \end{aligned}$$

b) Eftersom A rör sig fram och tillbaka längs x-axeln i figuren är det den riktningen som parallaxen syns. B rör sig 0,1'' första halvåret och åter lika mycket andra och har alltså årlig parallax 0,05''.

$$r = \frac{1''}{p} \text{ pc} = \frac{1}{0,05} \text{ pc} = 20 \text{ pc}$$

c) Eftersom B återkommer till sitt läge i x-led efter ett år har den ingen egenrörelse i den riktningen men väl i y-led 0,25'' mellan 3a och 3c. Alltså är $\mu = 0,25''/\text{år}$.

d) På avståndet 20 pc betyder det tangentialhastigheten

$$v_t = 4,74\mu r = 4,74 \cdot 0,25 \cdot 20 \text{ km/s} = 24 \text{ km/s}.$$

2.11 a)

$$\begin{aligned} \frac{v}{c} &= \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \\ v &= c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 3,00 \cdot 10^8 \frac{434,012 - 434,047}{434,047} \text{ m/s} = -24 \text{ km/s} \end{aligned}$$

b) Våglängden förkortad alltså blåförskjutning, rörelsen är mot oss.

c) Enligt lösningen av uppgift 11 är tangentialhastigheten $v_t = 24 \text{ km/s}$. Och enligt ovan är radialhastigheten $v_r = -24 \text{ km/s}$. Totala hastigheten fås genom att lägga ihop dessa med Pythagoras sats,

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{24^2 + 24^2} \text{ km/s} = 34 \text{ km/s}.$$

2.16 a) Förstoringen ges dels genom

$$M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}$$

och dels genom

$$M = \frac{D}{d}.$$

om man sätter samman dem två får man

$$\begin{aligned} \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}} &= \frac{D}{d} \\ f_{\text{okular}} &= \frac{d \cdot f_{\text{objektiv}}}{D} \end{aligned}$$

Vi ska välja brännvidd så att d blir 6 mm för optimal förstoring

$$f_{\text{okular}} = \frac{6 \cdot 2000}{200} \text{ mm} = 60,0 \text{ mm}$$

b) Förstoringen blir

$$M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}} = \frac{2000}{60,0} = 33 \text{ ggr}$$

2.17 a) $\lambda = 500 \cdot 10^{-9}$, $D = 203 \text{ mm}$

$$\alpha = \frac{2,3 \cdot 10^5 \text{ ''} \lambda}{D} = \frac{2,3 \cdot 10^5 \text{ ''} \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{0,203} = 0,56 \text{ ''}$$

b) $f_{\text{objektiv}} = 2000 \text{ mm}$, det kortaste okularet $f_{\text{okular}} = 6,4 \text{ mm}$ ger den största förstoringen

$$M = f_{\text{objektiv}}/f_{\text{okular}} = 2000/6,4 = 312,5 \text{ ggr}$$

c) Alt-azimutal montering innebär att teleskopet är monterad med en axel mot zenit och den andra horisontellt. Ekvatoriell montering innebär att en axel är monterad parallellt med jordaxeln och den andra vinkelrätt mot den.

2.18 a)

$$M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}} = \frac{3048}{36} = 85 \text{ ggr}$$

b)

$$f_{\text{okular}} = \frac{f_{\text{objektiv}}}{M} = \frac{3048}{100} \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$$

c)

$$\frac{D}{d} = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}$$

$$f_{\text{okular}} = f_{\text{objektiv}} \cdot \frac{d}{D} = 3048 \cdot \frac{6}{305} \text{ mm} = 60 \text{ mm}$$

d)

$$M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}} = \frac{3048}{60} = 50 \text{ ggr}$$

e)

$$\lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$D = 305 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{2,3 \cdot 10^5 \text{ ''} \lambda}{D} = \frac{2,3 \cdot 10^5 \text{ ''} \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{0,305} = 0,37 \text{ ''}$$

f) 1 pc definieras som det avstånd där parallaxen är 1". Eftersom baslinjen i parallaxmätningen är 1 AE så betyder det att på ett avstånd av 1 pc motsvarar 1" uppmätt vinkel ett avstånd på 1 AE. På 10 pc avstånd motsvarar 1" 10 AE och alltså motsvarar 0,37"

$$0,37 \cdot 10 \text{ AE} = 3,7 \text{ AE}$$

2.19

$$\alpha \propto \frac{\lambda}{D} \Rightarrow$$

$$\frac{\lambda_{\text{BHO}}}{D_{\text{BHO}}} = \frac{\lambda_r}{D_r}$$

$$D_r = \lambda_r \frac{D_{\text{BHO}}}{\lambda_{\text{BHO}}} = 0,1 \cdot \frac{0,305}{5 \cdot 10^{-7}} \text{ m} = 60 \text{ km}$$

3.10 Keplers tredje lag säger $P^2 \propto a^3$ alltså $P \propto a^{3/2}$ Jupiter ligger 5,2 au och har alltså vid jämförelse med jorden $\frac{P_J}{P_\oplus} = \left(\frac{a_J}{a_\oplus}\right)^{3/2} = 5,2^{3/2} \text{ år} = 11,85 \text{ år}$

3.19 Merkurius rör sig med en vinkelhastighet

$$\omega_\oplus = \frac{1}{88} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}}$$

och jordens

$$\omega_{\oplus} = \frac{1}{365} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}}.$$

Om vi räknar vinkel från den första konjunktionen. Kommer Merkurius efter tiden t dagar att ha gått vinkeln $\phi_{\text{☿}} = \omega_{\text{☿}} t$ och jorden $\phi_{\oplus} = \omega_{\oplus} t$. De befinner sig i undre konjunktion igen när Merkurius har gjort precis ett varv mer än Jorden.

$$\begin{aligned}\phi_{\text{☿}} &= \phi_{\oplus} + 1 \\ \omega_{\text{☿}} &= \omega_{\oplus} + 1 \\ \frac{t}{88} &= \frac{t}{365} + 1 \\ t(\omega_{\text{☿}} - \omega_{\oplus}) &= 1 \\ t &= (\omega_{\text{☿}} - \omega_{\oplus})^{-1} \\ &= \left(\frac{1}{88} - \frac{1}{365} \right)^{-1} = 116 \text{ dygn}\end{aligned}$$

- 3.20** Vid maximal elongation bildas en rät vinkel mellan Solen Jorden vid Merkurius. Med planeternas banradier som r fås den sökta vinkeln genom

$$\phi = \arcsin \left(\frac{r_{\text{☿}}}{r_{\oplus}} \right) = \arcsin 0,39 \approx 23^\circ$$

- 3.21** Merkurius rör sig med en vinkelhastighet

$$\omega_{\text{☿}} = \frac{1}{88} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}} = \frac{360}{88} \frac{\text{grader}}{\text{dygn}}$$

och jordens

$$\omega_{\oplus} = \frac{1}{365} \frac{\text{varv}}{\text{dygn}} = \frac{360}{365} \frac{\text{grader}}{\text{dygn}}.$$

Med punkterna M i Merkurius, S i solen och J i jorden är triangeln MSJ rätvinklig med vinkeln SMJ rät vid maximal elongation. Då kan vi räkna ut vinkeln MSJ med cosinus i den rätvinkliga triangeln

$$\angle \text{MSJ} = \arccos \left(\frac{\text{MS}}{\text{JS}} \right) = \arccos 0,39 = 67^\circ.$$

Vi behöver alltså räkna ut hur lång tid det tar för Merkurius att tillryggalägga 134° längre del i sin bana än vad Jorden gör på samma tid.

$$\begin{aligned}\phi_{\text{☿}} &= \phi_{\oplus} + 134^\circ \\ \omega_{\text{☿}} &= \omega_{\oplus} + 134^\circ \\ \frac{t}{88} &= \frac{t}{365} + 134^\circ \\ t(\omega_{\text{☿}} - \omega_{\oplus}) &= 134^\circ \\ t &= \frac{134^\circ}{\omega_{\text{☿}} - \omega_{\oplus}} \\ &= \frac{134}{\frac{360}{88} - \frac{360}{365}} = 43 \text{ dygn}\end{aligned}$$

- 3.22** Månen rör sig med en vinkelhastighet $\omega_{\text{☾}} = 360^\circ/t_{\text{syn}}$ och jorden med $\omega_{\oplus} = 360^\circ/t_{\text{yr}}$, räknat från en fullmåne inträffar nästa när

$$\begin{aligned}\omega_{\text{☾}} t - \omega_{\oplus} t &= 360^\circ \\ \frac{t}{t_{\text{syn}}} - \frac{t}{t_{\text{yr}}} &= 1 \\ t &= \left(\frac{1}{t_{\text{syn}}} - \frac{1}{t_{\text{yr}}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{29,5306} - \frac{1}{365,26} \right)^{-1} \text{ dagar} = 27,32 \text{ dagar}\end{aligned}$$

- 5.4 a) Solens luminositet $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$,
 Solens radie $R_{\odot} = 696 \cdot 10^6 \text{ m}$.
 Stefan-Boltzmanns lag

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \Rightarrow$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{215 \cdot 3,86 \cdot 10^{26}}{4\pi (25 \cdot 696 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} \text{ K} = 4429 \text{ K}$$

$$F = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4429^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 2,18 \cdot 10^7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- b) orange jätte, K
 c) Wiens förskjutningslag

$$\lambda_{\max} T = 0,002898 \text{ K} \cdot \text{m} \Rightarrow$$

$$\lambda_{\max} = \frac{0,002898}{T} \text{ K} \cdot \text{m} = \frac{0,002898}{4429} \text{ m} = 654 \text{ nm}$$

- d) Man tar då inte med den infraröda delen av spektret, den kan man ju till största delen inte se. Eftersom Arcturus är en svalare stjärna är en större del av strålningen infraröd och därför räknas en stor del av luminansen bort.

- 5.5 a) Solens luminositet $= 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$.
 Stefan-Boltzmanns lag

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi \sigma T^4}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,024 \cdot 3,86 \cdot 10^{26}}{4\pi 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 24800^4}} \text{ m} = 5900 \text{ km}$$

Jordens diameter 12 756 km. Förhållandet mellan diametrarna blir då

$$\frac{\varnothing_{\star}}{\varnothing_{\oplus}} = \frac{5864 \cdot 2}{12756} = 0,92$$

alltså 92 % av jordens radie.

- b) $1,7 \text{ ton/cm}^3$
 c) blåvit dvärg

- 5.6 Solens radie $R_{\odot} = 696 \cdot 10^6 \text{ m}$.
 Stefan-Boltzmanns lag

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 4\pi (2,3 R_{\odot})^2 \sigma T^4 = 4\pi (2,3 \cdot 696 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 10300^4 \text{ W} = 2,05 \cdot 10^{28} \text{ W}$$

som kan jämföras med solens $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{2,5 \cdot 10^{28}}{3,86 \cdot 10^{26}} = 53$$

- 5.7 a) Vi behöver aldrig ta reda på solens radie och räkna ut luminositeten. Eftersom luminositeten är proportionell mot flux gånger area ($L \propto FA$) och arean proportionell mot radien i kvadrat blir luminositeten proportionell mot flux gånger radie i kvadrat ($L \propto FR^2$). Förhållandet blir, om vi låter stjärnorna betecknas med index 1 och 2:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{F_1 R_1^2}{F_2 R_2^2} = \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = \frac{10^{14}}{10^{13}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{10}{4} = 2,5.$$

Den mindre stjärnan är alltså 2,5 gånger ljusstarkare än den större.

- b) Enligt Stefan-Boltzmanns lag är fluxen proportionell mot temperaturen i kvadrat ($F \propto T^4$).
Alltså är $L \propto T^4 R^2$ och

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{T_1^4 R_1^2}{T_2^4 R_2^2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = \left(\frac{6}{5}\right)^4 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \approx \frac{2,1}{4} = 0,52$$

d. v. s. den större stjärnan är nästan dubbelt så ljusstark som den mindre.

5.8

$$F = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5780^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 63,3 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

5.13 a)

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$v = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 3,00 \cdot 10^8 \frac{486,111 - 486,133}{486,133} \text{ m/s} = 13,6 \text{ km/s}$$

- b) våglängden förkortad alltså blåförskjutning, mot oss
c) Ja, jordens hastighet i banan är 30 km/s.
d)

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} + 1 \quad (\text{konstant för mättillfället})$$

$$\frac{\lambda_\alpha}{\lambda_{\alpha 0}} = \frac{\lambda_\beta}{\lambda_{\beta 0}}$$

$$\lambda_\alpha = \frac{\lambda_\beta}{\lambda_{\beta 0}} \lambda_{\alpha 0} = \frac{486,111}{486,133} 656,272 \text{ nm} = 656,242 \text{ nm}$$

- e) $1/0,129 \text{ pc} = 7,75 \text{ pc}$
f)

$$\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 \cos^2 \delta + \mu^2} = 0,301''/\text{år}$$

Uttrycket för tangentialhastighet säger

$$v_t = 4,74 \mu r$$

med v_t i km/s μ i $''/\text{år}$ och r i pc.

$$v_t = 4,74 \mu r = 4,74 \cdot 0,301 \cdot 1/0,129 \text{ km/s} = 11,1 \text{ km/s}$$

g)

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{11,1^2 + 13,6^2} \text{ km/s} = 17,5 \text{ km/s}$$

6.4 a)

$$\Delta m = (6,693 - 6,645) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E_{\text{pp}} = \Delta m c^2 = (6,693 - 6,645) \cdot 10^{-27} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

b)

$$\frac{E}{E_{\text{pp}}} = \frac{3,9 \cdot 10^{26}}{4,32 \cdot 10^{-12}} = 9,0 \cdot 10^{37}$$

c)

$$m = 9,0 \cdot 10^{37} \cdot 6,693 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 6,04 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

d) 9,5 %

6.5 a) $1/4 = 25 \%$

b) $(1/4)^3 = 1/64 \approx 2 \%$

6.31 RR Lyraevariabler har i medel absolut magnitud 0,6, så med avståndsformeln får vi

$$r = 10 \cdot 10^{\frac{m-M}{5}} \text{ pc} = 10 \cdot 10^{\frac{15,6-0,6}{5}} \text{ pc} = 10 \text{ kpc}.$$

7.9

$$\Delta m = (92,88213299 - 56 \cdot 1,6749) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = -9,1 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

$$E = \Delta mc^2 = -9,1 \cdot 10^{-27} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = -8,21 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Massan för neutronerna är större än järnkärnan och det alltså inte en reaktion som kan uppkomma spontant utan drivs av den stora energiomsättningen vid kollapsen och den gravitationella energin som frigörs.

- 11.3 a) Sfäriskt, platt och hyperboliskt.
 b) Sfäriskt
 c) Att de syns ljusstarkare visar att de är närmare. Att de ändå visar så stor rödförskjutning visar att expansionshastigheten var större för länge sedan, alltså att expansionen avtar. Vi har ett slutet universum, $\Omega_0 > 1$, sfärisk geometri.
 d) Universums totala massa, synlig och mörk ger ungefär 0,2-0,4 av den kritiska densiteten men observationer pekar mot att universums är ungefär platt.

Akronymer

AE	Astronomisk Enhet	IR	InfraRött
AU	Astronomiska Unionen	JWST	James Webb Space Telescope
BHO	Bengt Hultqvistobservatoriet	SOHO	Solar and Heliospheric Observatory
COBE	Cosmic Background Explorer	UV	UltraViolett
GMT	Greenwich Mean Time	VLA	Very Large Array
HEAO	High Energy Astrophysical Observatory	VLT	Very Large Telescope
HST	Hubble Space Telescope	WMAP	Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

Referenser

Lagerkvist, C.-I., and K. Olofsson, *Astronomi en bok om universum*, first ed., Bonniers, 2007.