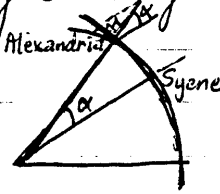


a) Hvis forskjellen i buelengde er gitt ved vinkelen  $\alpha$ , får vi

$$\text{tg } \alpha \approx \frac{25}{200} = 0.125,$$

$$\alpha = 7.13^\circ$$

$$x = \frac{5000 \cdot 360}{7.13} \text{ stadier} = \frac{252450}{6.3} \text{ km} = \underline{\underline{40070 \text{ km}}}$$



b) En stjernes vinkelavstand fra den sanne horisont kalles stjernens høyde, og måles langs stjernens vertikalsirkel. Vertikalsirkelen gjennom himmelens nordpol og senit kalles stedets meridian, og vinkelen mellom en stjernes vertikalsirkel og meridianen måles langs den sanne horisont og kalles asimut (regnet fra sørpunktet, vanligvis). Høyde og asimut gir da en stjernes posisjon i forhold til et punkt på jorden i et gitt øyeblikk. Storsirkelen normalt på himmelaksen kalles himmelens ekvator, og en stjernes vinkelavstand fra himmelens ekvator kalles stjernens deklinasjon og måles langs stjernens deklinasjonssirkel gjennom stjernen og himmelens nordpol. En stjernes timevinkel er vinkelen mellom deklinasjonssirkelen og meridianen, regnet mot vest langs himmelens ekvator. Vinkelavstanden langs himmelens ekvator fra vårjevndagspunktet til deklinasjonssirkelen gjennom stjernen i retning motsatt timevinkelen kalles rektascensjon. En stjernes posisjon på himmelkuler er da fullstendig bestemt ved deklinasjon og rektascensjon, og fordelen med deklinasjon og timevinkel istedenfor høyde og asimut er at bare én koordinat, timevinkelen, forandrer seg under himmelkulens rotasjon.

## Antydnet løsning Oppgave 1

c] For å lette orienteringen på himmelen har man bundet sammen grupper av stjerner med rette linjer til stjernebilder. Himmelmeklen er idag oppdelt i 88 stjernebilder. Karlsvogna er en del (7 stjerner) av stjernebildet Ursa Major eller Den Store Bjørn. Zodiacus eller Dyrekretsen er et brett rundt himmelmeklen med ekliptikken som sentrallinje, og solen, månen og planeterne befinner seg alltid innenfor dette brettet når de beveger seg. Dyrekretsen er oppdelt i 12 tegn eller områder på  $30^\circ$  hver, som starter ved vårjevndøgnspunktet og løper østover. Tegnene er oppkalt etter 12 stjernebilder som falt sammen med tegnene for 2000 år siden: Væren (Aries), Tyren (Taurus), Tvillingene (Gemini), Krepsen (Cancer), Løven (Leo), Jomfruen (Virgo), Vekten (Libra), Skorpionen (Scorpio), Skytten (Sagittarius), Stenbukken (Capricornus), Vannmannen (Aquarius), og Fiskene (Pisces). P.g.a. presesjonen har vårjevndøgnspunktet flyttet seg ca.  $30^\circ$  vestover siden da gang, tegnene har fulgt med, og dekker derfor ikke lenger stjernebildene de er oppkalt etter. Når solen går inn i Værens tegn f.eks., står den fremdeles i stjernebildet Fiskene, og når ikke stjernebildet Væren får en måned senere (tilsvarende presesjon i løpet av 2000 år).

d] En storsirkelbue langs jordoverflaten på  $3000\text{ km}$  tilsvarer en vinkel lik

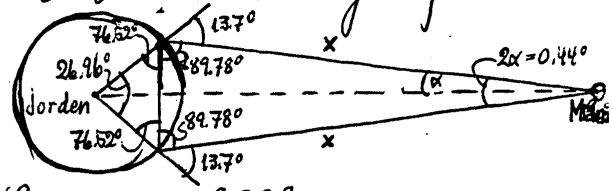
$$\varphi = \left( \frac{57.296 \cdot 3000}{6375} \right)^\circ = 26.96^\circ.$$

Da blir vinkelen  $2\alpha$  mellom de to retningstingene til månen like  $0,44^\circ$ , siden

$$\frac{(180^\circ - 26,96^\circ)}{2} = 76,52^\circ$$

$$180^\circ - (13,7^\circ + 76,52^\circ) = 89,78^\circ$$

$$2\alpha = (180 - 2 \cdot 89,78)^\circ = 0,44^\circ, \quad \alpha = 0,22^\circ$$



og med motstående side i tilsvarende trekant like

$$6375 \cdot \sin\left(\frac{26,96^\circ}{2}\right) \text{ km} = 6375 \cdot 0,233 \text{ km} = 1485 \text{ km},$$

far vi en avstand fra observasjonsstedene like

$$X = \frac{1485}{\sin \alpha} \text{ km} = \frac{1485}{0,00384} \text{ km} = \underline{\underline{386700 \text{ km}}}$$

e) Asteroider er små planeter eller planetoider som vi finner i solsystemet i tillegg til de 9 kjente planetene. Asteroidene befinner seg generelt i baner mellom Mars og Jupiter i solsystemet, men enkelte kan komme innfor Merkur eller utenfor Saturn på grunn av sterkt eksentriske baner. Bodes lov gir følgende oppskrift for planetbanene: Lag en tallrekke der hvert påfølgende tall er det dobbelte av det foregående. Start tallrekken med 0 og 0,3, adder 0,4 til hvert tall, og det gir tallrekken 0,4, 0,7, 1,0, 1,6, 2,8, 5,2, 10,0, 19,6, 38,8, 77,2. Det stemmer forbausende godt med planetenes virkelige avstand fra solen regnet i AU, bortsett fra Pluto, og at det mangler en planet i avstand 2,8 AU. Men asteroidene synes å erstatte den manglende planeten.

$\frac{1}{2}$  Jordens gravitasjonskraft på en masse  $m$  kan skrives  

$$\vec{F}_g = -mg\left(\frac{R^2}{r^2}\right)\vec{e}_r, \quad r \geq R, \quad (\text{og } g = MG/R^2)$$
 der  $g$  er tyngdeakselerasjonen på jordoverflaten og  $R$  er jordens radius. Gravitasjonspotensialet er da

$$U = -\left(\frac{mgR^2}{r}\right).$$

Bevegelse i  $r$ -retning kan finnes ved energibevarelse, dvs.

$$E = T + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{mgR^2}{r} = \text{konstant} = \frac{1}{2}mv_0^2 - mgR,$$

$$v = \sqrt{2(E + mgR^2/r)/m} = \sqrt{v_0^2 - 2gR(1 - R/r)}.$$

Vi har  $r_{\max}$  for  $v = 0$ , dvs. for

$$v_0^2 - 2gR + 2gR^2/r = 0,$$

$$r_{\max} = \frac{2gR^2}{(2gR - v_0^2)} = \frac{R}{(1 - v_0^2/2gR)}$$

Vi ser at  $r_{\max} \rightarrow \infty$ , dvs. partikkelen unnslipper for

$$v_0 = \sqrt{2gR} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 6.375 \cdot 10^6} \text{ m/sek} = \underline{\underline{11.2 \text{ km/sek.}}}$$

### Antydnet løsning. Oppgave 2

a) I tillegg til elektromagnetisk stråling bombarderes jorden også av ioniserende partikler fra verdensrommet som vi kaller kosmisk stråling. Primærstrålingen består av atomkjerner og elementerpartikler som kan ha enorme partikkelenergi. Når denne rumarstrålingen treffer atmosfæren, vil sammenstøt med molekyler føre til omformingsprosesser (kjernerreaksjoner o.l.) og dermed sekundærstråling som når ned til jordens overflate. Kosmisk stråling kommer fra alle kanter av verdensrommet, og noen mener at strålingen dannes i forbindelse med supernovautbrudd eller <sup>kommer</sup> fra kvasarer og "eksploderende" galakser.

b) Solflekker er gass som er mørkere enn omgivelsene fordi de er kaldere, og de har sammenheng med sterke magnetfelter (påvist f.eks. gjennom Zeeman effekt). Magnetfelt produseres av elektriske strømmer, dvs. av ledning i bevegelse, og sannsynligvis vil

sterke felter i solens indre av og til bryte igjennom fotosfæren. Varm ionisert gass produserer elektroner og ioner som tvinges til å følge de magnetiske feltlinjene. Den generelle sirkulasjon eller bevegelse av varme gasser hindres da slik at vi får kaldere områder.

b) Fotonenergien vil være proporsjonal med frekvensen eller omvendt proporsjonal med bølglengde dvs. lys fra Aldebaran får en Doppler-forskyving lik

Relativistisk:  $\omega_A/\omega' = \sqrt{(1-\beta_A)/(1+\beta_A)} = \sqrt{\frac{1-55/300000}{1+55/300000}} \approx 1 - \frac{11}{60000} = 0.999816$   
 (Eller ikke-relativistisk, som er godt nok her:  $\omega_A/\omega' = 1 - v/c = 1 - 55/300000 = 0.999816$ )

og lys fra Ettarir får tilsvarende

Relativistisk:  $\omega_E/\omega' = \sqrt{(1+\beta_E)/(1-\beta_E)} = \sqrt{\frac{1+27.5/300000}{1-27.5/300000}} \approx 1 + \frac{11}{120000} = 1.000091$   
 (Eller ikke-relativistisk, som er godt nok her:  $\omega_A/\omega' = 1 + v/c = 1 + 27.5/300000 = 1.0000917$ )

dvs. fotonenergien fra Aldebaran minker dobbelt så mye som fotonenergien fra Ettarir øker.

d) Ifølge definisjonene, får vi

$$m_1 - m_2 = 2.5 \lg(I_2/I_1) = 2.5 \lg 45000 = 2.5 \cdot 4.65 = \underline{\underline{11.6}}$$

e) Vi finner direkte at

$$\lg(L_2/L_1) = (M_1 - M_2)/2.5,$$

dvs. for Sirius:  $\lg(L_s/L_\odot) = (4.8 - 1.5)/2.5 = 1.32$   
 $\underline{\underline{L_s/L_\odot = 21}}$

og for Barnards stjerne:  $\lg(L_B/L_\odot) = (4,8 - 13,2)/2,5 = -3,76$   
 dvs.  $\lg(L_B/L_\odot) = 0,64 - 4$ ,  $L_B/L_\odot = 0,00044$

Hvis lysstyrken (luminositeten) til en stjerne er stort sett proporsjonal med fargen, og hvis vi plottet lysstyrke, dvs. absolutt størrelse eller luminositet, mot farge eller effektiv temperatur, får vi et såkalt Hertzsprung-Russell diagram. Hver stjerne er da representert ved et punkt, og de fleste stjernene faller innenfor et smalt område som kalles hovedserien. Men det er hovedsakelig to unntakelser: såkalte røde kjemper med stor luminositet som er store og enormt lyssterke sammenlignet med deres røde farge, og såkalte hvite dverger med liten luminositet som er små og enormt lyssvake i forhold til deres hvite farge. Hvis en stjerne har en <sup>bestemt</sup> synlig (apparent) styrke eller størrelsesklasse, mens den med sin farge etter HR diagrammet burde ha en bestemt absolutt størrelse (tilsvarende en avstand på 10 parsec), kan vi finne avstanden ved å sammenligne apparent og absolutt størrelse. Også noen variable stjerner faller utenfor hovedserien.

## Antydning. Oppgave 3

7

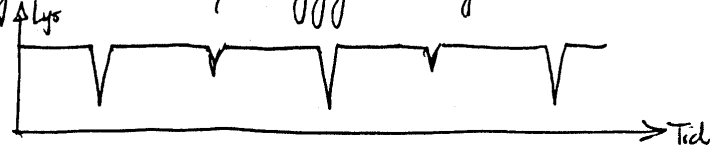
a) I en optisk dobbeltstjerne synes to stjerner nesten sammenfallende fordi de ligger i samme synsretning fra jorden (dvs. har samme himmelkoordinater), mens den ene stjernen i virkeligheten befinner seg mye nærmere jorden. I en fysisk dobbeltstjerne er to stjerner virkelig bundet til hverandre ved gravitasjonskrefter. Ved posisjonsbestemmelse kan man avgjøre om dobbeltstjernen er optisk eller fysisk. I en optisk dobbeltstjerne vil de to komponentene (stjerner) bevege seg rettlinjet i forhold til hverandre, mens i en fysisk dobbeltstjerne vil komponentene bevege seg i lukkede baner om et felles tyngdepunkt. De fysiske dobbeltstjernene kan inndeles i fire hovedklasser etter måten de observeres på: 1. visuelle, 2. astrometriske, 3. spektroskopiske, og 4. fotometriske dobbeltstjerner. En visuell dobbeltstjerne kan oppløses (se i to komponenter (stjerner) v.h.a. kikket (teleskop). I en astrometrisk dobbeltstjerne har enten komponentene en felles egenbevegelse på himmelen men så lang omløpstid at vi ikke kan påvise banebevegelsen, eller en synlig stjerne har en usynlig ledsager slik at vi ser bare denne ene stjernens "slange-bevegelse" på himmelen (om et felles tyngdepunkt som beveger seg rettlinjet). En spektroskopisk dobbeltstjerne kan ikke oppløses i to komponenter v.h.a. teleskop, men Dopplereffekten i stjernens spektrum viser at den egentlig er en dobbeltstjerne. En fotometrisk dobbeltstjerne er en formørkelsesvariabel stjerne som ikke kan oppløses i to komponenter med teleskop, men vår synslinje danner en så liten vinkel med dobbeltstjernens baneplan at komponentene formørker hverandre vekselvis slik at lystyrken varierer.

b) Hvis jorden ligger tilnærmet i samme plan som dobbeltstjerne-systemets baneplan, ser vi dobbeltstjernen "fra siden" og vi observerer stjerneformørkelser der den ene stjernen (helt eller delvis) "skygger for" den andre (periodisk). Hvis f.eks. en varm stjerne bevæger sig omkring en kald stjerne slik at vi ser totalformørkelser, blir lyskurven



stjernen passerer bak den kalde, og det andre minimum (sekundær-formørkelser) tilsvarer den kalde bak den varme.

Hvis vi ikke har totalformørkelse, skygger stjernene bare delvis for hverandre i vår synsretning, og vi får en lyskurve lik



Lysstyrken vi vanligvis observerer er summen av utstrålingen fra de to stjernene. Lyskurven gir informasjon om størrelse og bane

c) Keplers 3. lov for dobbeltstjernen, sammen med Keplers 3. lov for jorden omkring solen, gir

$$M = M_1 + M_2 = (4\pi^2/G)(a^3/T^2),$$

$$M_\odot = (4\pi^2/G)(a_j^3/T_j^2),$$

$$a_j = 1 \text{ AU}, \quad T_j = 1 \text{ år},$$

når jordens masse neglisjeres i forhold til solens masse, da

$$M = [(a/a_j)^3 / (T/T_j)^2] M_\odot = (22^3 / 40^2) M_\odot = 6.65 M_\odot = \underline{1.33 \cdot 10^{31} \text{ kg}}$$

d) Avstanden ( $a_1$  og  $a_2$ ) fra hver av stjernene til dobbeltstjernes tyngdepunkt er omvendt proporsjonal med massen til hver av stjernene, og Keplers 3. lov gir



$$M = M_1 + M_2 = (a_1 + a_2)^3 / T^2 = (a_1 + a_1 M_1 / M_2)^3 / T^2$$

$$= (M_1 + M_2)^3 a_1^3 / M_2^3 T^2$$

$$M_2^3 / (M_1 + M_2)^2 = M_2^3 / (M_\odot + M_2)^2 = a_1^3 / T^2 = M_\odot / 900$$

$$900 M_2^3 = M_\odot^3 + 2 M_\odot^2 M_2 + M_\odot M_2^2$$

For  $M_2 \ll M_\odot$ , kan ligningen løses og gir i første tilnærming

$$M_2 = \sqrt[3]{M_\odot^3 / 900} = 0.1 M_\odot \quad (M_2 \gg M_\odot \text{ er umulig som løsning})$$

Innsetting gir en mer nøyaktig verdi i neste tilnærming som

$$M_2 = 0.11 M_\odot$$

e) I stjernebildet Cygnus finnes en spektroskopisk og fotometrisk dobbeltstjerne, som består av en usynlig komponent sammen med en blå kjempe. Den usynlige komponenten har en masse lik 6-10  $M_\odot$ , som er større enn Chandrasekhar-grensen for neutronstjerner, dvs. den kan være et svart hull. Dessuten er Cygnus X-1 en meget sterk kilde for røntgenstråling som kan produseres når masse fra den blå kjempen akselereres til enorme hastigheter og faller mot det svarte hullet (røntgenstråling p.g.a. partikkel-kollisjoner i gass, osv.). Den blå kjempen kan så periodisk formørke stråling i retning mot jorden.

f) Seyfert-galaksier er spiralgalaksier med usedvanlig lyssterke kjerneområder, og de representerer kanskje en spesiell fase i en spiralgalaksers liv. Kjernene i Seyfert-galaksier er meget blå og emitterer uforklarlig mye stråling i det ultrafiolette området. Dessuten er noe av lyset polarisert, noe som tyder på synkrotronstråling. Vi finner også sterk stråling i den infrarøde delen av spektrat, kanskje på grunn av oppvarmet støv og gass. Utstrålingen fra kjernen i Seyfert-galaksier varierer sterkt, og den store energitilførselen er et "mysterium".