

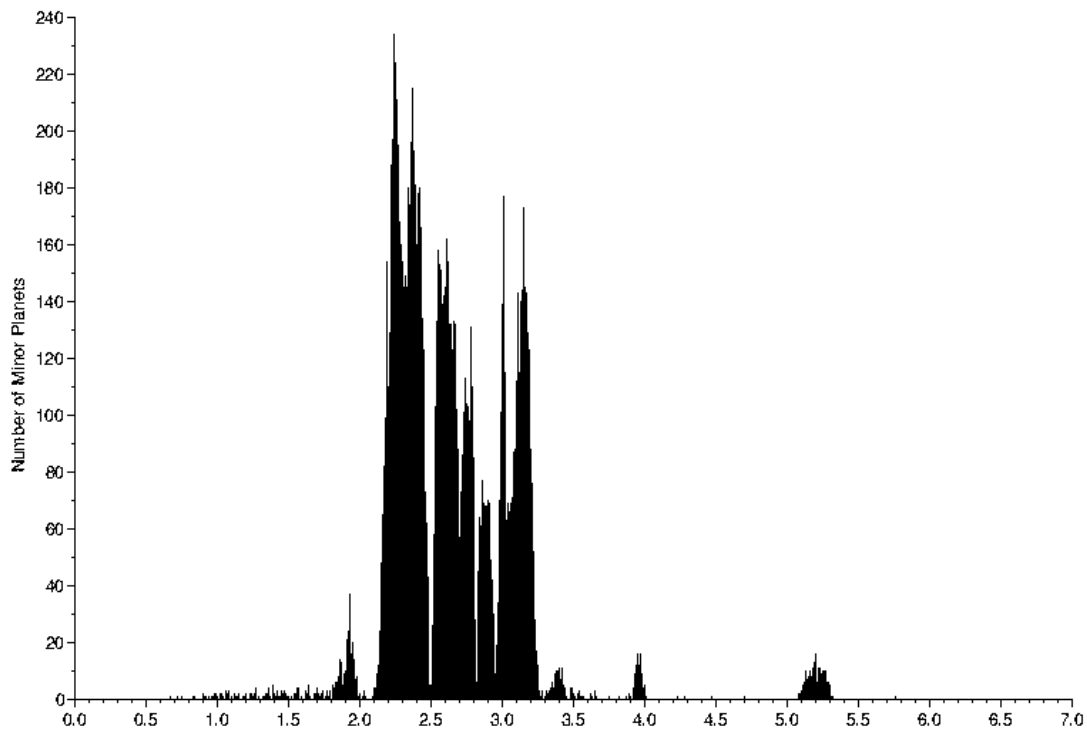
# Fasit og Sensurveiledning for AST101 Våren 2003.

## 1. Asteroider, meteoror og kometer

- a) Omtrent hvor store er asteroidene og hvor mange er de? Hva består de av?

Ceres, den største, er nesten 1000 km i diameter, men bare 2 andre er større enn 300 km. Vel 200 asteroider er større enn 100 km, flere tusen er større enn 1 km i diameter og trolig flyr en masse enda mindre smålegemer i baner rundt sola. Kanskje kan 100 000 oppdages med teleskoper fra jorda.

De aller fleste er steinasteroider, vi kjenner sammensetningene fra studiet av meteoror som stammer fra asteroidene. En mindre andel er stein-metall objekter.



Figur 1: Fordeling av asteroider i asteroidebeltet

- b) Se figur av asteroidebeltet. Hva er forklaringen på åpningene i asteroidebeltet? Omtal kort de asteroidene vi finner utenom asteroidebeltene?

Jupiter påvirker noen av asteroidene ved å trekke dem ut av (fjerne dem fra) baner i bestemte avstander fra sola. Asteroider i disse bestemte avstandene har omløpstider som er f.eks.  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $3/7$  osv. av Jupiters omløpstid. Det vil si at for et helt antall omløp for asteroiden, så står Jupiter på samme sted på utsiden og trekker på asteroiden. Denne 'resonans' effekten fjerner over tid asteroiden fra den gitte banen.

Trojaner-asteroidene går samme bane som Jupiter, hhv. i vinkelavstand 60 grader foran og bak planeten sett fra sola. Asteroidene i det indre av solsystemet kan krysse jordbanen. Muligheten er til stede for at noen av disse sistnevnte asteroidene kan kollidere med jorda. Slike asteroider kalles Near Earth Objects (NEOs)

- c) Nevn noen måter vi kan studere asteroider på for å lære om deres fasong, rotasjonsperiode og overflate.

Flere måter er i dag tilgjengelige for detaljstudier av asteroider:

- (a) Hubble Space Telescope kan i dag skjelne strukturer på overflaten av de største asteroidene, f.eks. lavafelter på Vesta.
  - (b) Mindre teleskoper på bakken registrer at lyset fra asteroidene varierer ettersom de roterer. En avlang asteroide vil kunne variere bl.a. fordi den snur sider av ulike størrelse mot oss i løpet av en rotasjonsperiode.
  - (c) Størrelse og fasong av asteroider kan skjelnes ved at man sender radiostråling mot asteroiden og studerer det reflekterte signalet. Radarsignaler.
  - (d) Man kan sende et romskip til eller nær en asteroide og studere bilder som da sendes tilbake til jorda.
- d) Man regner idag med at de fleste store asteroider kan ha kollidert med andre asteroider. Hva slags observerte virkninger har slike kollisjoner hatt som har ført til at man mener dette?

Radarbildene viser at noen asteroider har merkelige fasonger som tyder på at de er sammensatt av løst sammenhengende steinblokker. Romfartøy til asteroider har sendt bilder tilbake som viser at overflatene har små og store nedslagskrater og er dekket av regolitt, knust stein. For asteroiden Mathilde har man kunnet anslå middel tettheten til verdi  $1.3 \text{ g/cm}^3$ . Dette er for lavt til at asteroiden kan være laget av hel stein. Isteden tror man den er

en "steinhaug" (rubble pile) av små fragmenter som holdes løst sammen av gravitasjon.

- e) En meteor er et kortvarig lysfenomen på himmelen, en lysende stripe som forsvinner i løpet av ett eller noen få sekunder. Hva forårsaker dette lysfenomenet?

Det kortvarige lysblaffet får vi når en stein eller metallbit fra verdensrommet kommer inn i jordens atmosfære. Friksjonsvarme varmer opp steinen og får den til å fordampe. Den blir glødende og dette er det lysfenomenet vi ser. Dette skjer i omlag 80 km høyde. Men store meteorer, gjerne flere meter i diameter, kan "overleve" fordampingen tilstrekkelig til at meteorittsteiner lande på bakken.

- f) Hva er en meteorsverm? Beskriv og forklar hvordan den kan arte seg som himmelfenomen. Hva er forbindelsen mellom meteorsvermer og kometer?

Meteorer i svermer synes å komme fra et bestemt lite område på himmelen. De opptrer i store mengder i begrensede tidsrom, fra noen minutter til noen dager og de kommer igjen til omtrent samme tid/dato hvert år, selv om de ikke er like rike på meteorer hvert år. De har gjerne navn etter det området på himmelen de kommer fra. Således stråler meteorene i Leonide-svermen ut fra et område i stjernebildet Leo - Løven. Årsaken til svermene er at jorda i sin bane styrer inn i en sky av stein og støv som ligger igjen etter en komet som har passert. Det blir som å kjøre inn i en snøstorm: Alle snøfuggene synes å komme fra et punkt i forlengelse av kjøreretningen.

- g) Store meteorer kan nå bakken, Da kalles de gjerne meteoritter. I meteoritter av rent metall kan vi kalle frem Widmanstätten-mønstre, se figur 2. Hvordan dannes Widmanstätten-mønstrene og hva forteller de om hvordan asteroider kan være bygget opp og har utviklet seg og om relasjonen mellom asteroider og meteoritter?

Widmanstätten mønstrene er krystallinske strukturer i metallet som bare dannes under høyt trykk og temperaturer og under en langsom avkjøling over millioner av år. Dette skjer under forhold man mener har eksistert i det indre av asteroider som opprinnelig har vært helt eller delvis smeltet og som da har fått dannet en metallkjerne. Asteroiden er blitt *differensiert*, akkurat som en planet. Man tror at kilden for oppvarmingen har vært radioakti-



Figur 2: Polert og syrebehandlet overflate av metall-meteoritt viser Widmanstättenmønster.

vitet fra ustabile isotoper, f.eks. aluminium 26 dannet under den supernovaeksplosjon som opprinnelig presset sammen den interstellare gassen som sola er dannet av. Samtidig illustrerer dette de nære forhold mellom meteoritter og asteroider. Meteorittene er stein slått løs fra asteroider. (Noen kan også være steiner slått løs fra Mars eller Månen.)

- h)** Kometer klassifiseres gjerne som mellom- og kortperiodiske og som langperiodiske. Beskriv forskjellen mellom disse gruppene, særlig med hensyn til omløpstid rundt sola, største avstand fra sola, orientering av baneplanene, og opprinnelsessted i solsystemet. (Hint: husk Oort skya og Kuiper beltet.)

De mellom- og kortperiodiske kometene har omløpstider rundt sola på under 200 år. De fleste av dem har perioder på mellom 20 og 200 år. De har baner som befinner seg inne i solsystemet med største avstand fra sola fra typisk Jupiters avstand til noe utenfor Neptuns bane. Baneplanet ligger nær ekliptikken, jordbanens plan. Langperiodiske kometer har perioder på kanskje millioner av år og kan bevege seg mellom 10,000 og 100,000 AU fra sola. Baneplanene for disse kometene har alle mulige orienteringer i rommet. Kilde-områdene for de to typene av kometer er hen-

holdsvis Kuiperbeltet og Oortskya. Kuiperbeltet er et område ute ved Neptuns bane, hvor vi nå begynner å registrere komet og asteroidelignende objekter, mens Oortskya ligger mye lenger ute, ca 50-100,000 AU fra sola.

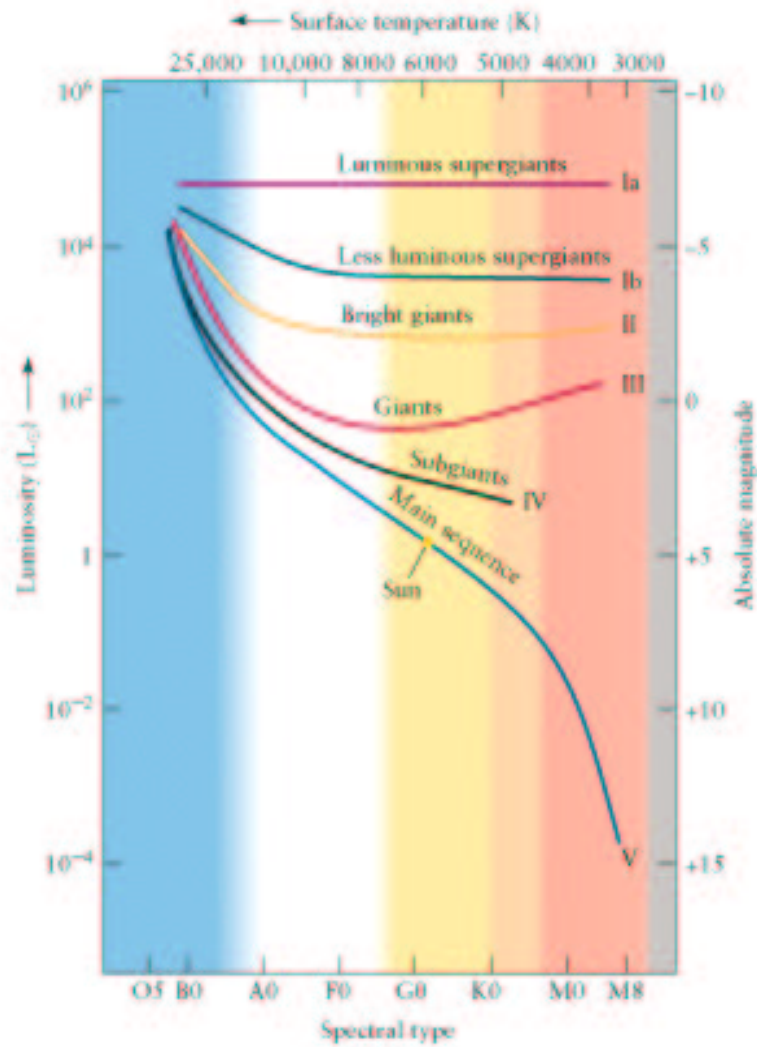
- i) Kometer består av en kjerne (nucleus), et hode (coma) og to eller oftest flere haler. Hvordan er kjernen bygd opp? Har kometene hode og haler når de er langt borte fra sola? Forklar hvorfor kometer har haler og beskriv og forklar formen på halene. Hvordan utvikler halene seg når kometen kommer inn gjennom solsystemet, svinger rundt sola og går ut igjen? Tegn gjerne en skisse av komet-halene slik de ser ut når kometen er henholdsvis på vei inn og på vei ut fra sola.

Når kometen er langt fra sola består den bare av kjernen, men ikke coma eller haler. Kjernen er en blokk av is, innblandet noe stein og støvpartikler og er kanskje noen kilometer i diameter. Kometer som nærmer seg sola varmes opp og begynner å fordampe. Gass og støv spruter ut av komet-kroppen, kjernen. De to hovedtypene av haler er; a) en ione-hale som består av ladete atomer og som den ladete solvinden blåser radielt ut fra sola, og b) en eller oftest flere gass og støvhale, som også peker bort fra sola idet ”lystrykket” (kollisjoner med fotoner fra sola) virker til å drive også gassen og støvet bort fra sola. Denne sistnevnte mekanismen er mindre effektiv enn vekselvirkningen mellom den ladete solvinden og ladete atomer fra kometen og gasshalen er derfor ikke radiell men krum. Alle halene peker bort fra sola både på inn- og ut-tur. (Figur: Se bokas figur 17.24).

## 2. Stjerners liv og utvikling

- a) Tegn Hertzsprung-Russell diagrammet. Sett korrekte akser på diagrammet og tegn inn og merk av hvor de forskjellige klasser av stjerner befinner seg, inkludert hvite dverger. Plasser sola i diagrammet.

Figur som er gjengitt (neste side) er Fig. 19.17. Posisjonen av hvite dverger kan tegnes inn fra f.eks. Fig. 19.15 i boka.



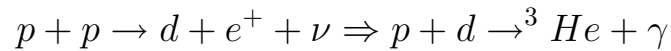
Figur 3: HR-diagrammet. Hvite dverger er ikke inkludert og må fylles inn

- b) Stjernene lever den lengste delen av sine liv på hovedserien. Hvilken prosess skaper energien som stjernene stråler ut mens de er på hovedserien.

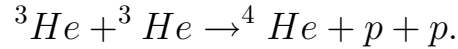
Proessen er fusjon av hydrogen til helium, hvor fire protoner omdannes til en heliumkjerne, en så kalt alfapartikkel. Altså  $4p \rightarrow He + \nu + \gamma$ , hvor  $\nu$  og  $\gamma$  er hhv. et nøytrino og gamma-fotoner. De fire protonene er mer massive enn heliumkjernen, det vil si at  $\Delta m = 4 \cdot m_{proton} - m_{\alpha} > 0$ . Frigjort energi svarer til masseforskjellen omregnet etter Einsteins uttrykk:  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ , hvor  $c$  er lyshastigheten.

[To spesifikke prosesser er proton-proton (pp) prosessen og den mer kompliserte CNO prosessen, som er den mest effektive ved

høye temperaturer. Det er et pluss om f.eks. pp prosessen beskrives korrekt:



og videre:



Men god karakter gis også uten slike detaljer.]

- c) Hvilke faktorer bestemmer stjernenes levetid på hovedserien? Stjerners levetid bestemmes av to faktorer: Hvor mye brennstoff de har og hvor stort forbruket er av energi. Siden energien kommer fra fusjon av hydrogen er energireservoaret grovt sett proporsjonalt med stjernens masse,  $M$ , selv om bare en (liten) del av massen fusjonerer mens stjernen er på hovedserien. Forbruket er proporsjonalt med luminositeten,  $L$ . For levetiden,  $\tau$ , får man derfor

$$\tau \propto M/L.$$

- d) Hvorfor tilbringer massive stjerner kortere tid på hovedserien enn de med mindre masse selv om de massive stjernene har mer “drivstoff”?

Store stjerner lyser relativt mye mer per masse-enhet enn mindre massive stjerner. Det vis si at energiproduksjonen pr masse-enhet er atskillig høyere. Dermed blir deres levetid kortere enn levetiden for de mindre massive stjernene. En massiv stjerne lever kanskje bare 10-100 millioner år, mens en stjerne som sola lever i 10 milliarder år på hovedserien og en svak stjerne enda mye lenger. [Masse-lysstyrke variasjonen sier at  $L \propto M^{3.5}$  slik at levetiden

$$\tau \propto M^{-2.5}.$$

Dette forutsetter naturligvis også at en like stor brøkdel av den totale massen fusjonerer i alle stjerner, noe som ikke holder strengt. Uttrykket gir likevel en god pekepinn om forholdene. Det er et pluss med ligningene, men god karakter kan gis for forståelsen i første del av svaret.]

- e) Før de ankommer hovedserien kalles stjernene *protostjerner*. Hvor dannes protostjernene og hvorfor er de vanskelig å observere direkte? Hva er energikilden som varmer opp en stjerne i denne livsfasen? Hva betegner avslutningen av protostjerne-fasen?

Stjerner dannes ved at gass-skyer i rommet (gjærne kalde skyer med gass molekyler, s.k. giant molecular clouds) begynner å trekke seg sammen. Det dannes flere protostjerne i hver slik stor sky. At protostjernene befinner seg inne i de tette og ugjennomsiktige skyene, gjør at de er vanskelig å observere. Energifkilden for en protostjerne er gravitasjonsenergi, potensiell fall-energi, som frigjøres når gassen under sammentrekningen faller 'ned' i sitt eget gravitasjonsfelt. Som ved alle fall frigjøres det energi, som varmer opp gassen. Protostjernen varmes opp inntil fusjonsprosessene starter i det indre når temperaturen der når verdier på noen millioner grader. Dette betegner avslutningen på protostjerne-fasen og starten på stjernens liv på hovedserien. (Detaljene kan være forskjellige for små og store stjerner, uten at det er spurt om her.)

- f) Hva skjer med en stjerne som sola, med forholdsvis lav masse, i de første stadier etter at den har forlatt hovedserien? Gi en kort beskrivelse og tegn også solas ventede, framtidige utviklingsgang i Hertzsprung-Russell diagrammet.

Det henvises til Fig. 22-1 i læreboka, især a. Hydrogenbrenning i kjernen opphører, kjernen trekker seg sammen og varmes opp. Oppvarmingen starter skallbrenning av hydrogen utenfor kjernen. Varmen fra dette gjør at de ytre lagene blåses opp og stjernen blir en rød kjempestjerne. På tross av den økte og økende energiproduksjonen og utstrålingen er temperaturen på overflaten lav fordi stjernen er så stor. Den sammen-trekte kjernen blir til slutt varm nok til å starte fusjon av helium til karbon. For sola skjer dette eksplosivt, et helium-flash. (I stjerner med masser over 2-3 solmasse starter heliumfusjonen gradvis.)

- g) Hva skjer med en massiv stjerne etter stadiet på hovedserien? Gi en kortfattet beskrivelse. At stjernen er massiv vil her si at den på hovedserien har mer enn 8 solmasser. Hvordan er den indre strukturen i en slik stjerne på et forholdsvis sent utviklingstrinn? (Hint: Fullt utviklet skallbrenning)

I en svært massiv stjerne blir temperaturen i det indre høy nok til



å starte nye fusjonsprosesser i kjernen av stadig tyngre grunnstoffer. Etter som hver prosess bruker opp drivstoffet sitt, og brenner seg ut, vil kjernen trekke seg sammen. Prosessen fortsetter som skallbrenning rundt kjernen, mens en økt temperatur i kjernen på grunn av sammentrekningen antenner en ny fusjonsprosess. I hver av disse fasene utvides også stjernens ytre lag. Den eser opp til en superkjempe. Etterhvert som de ulike fusjonsprosesser brennes ut i kjernen, starter de igjen som skallbrenning lenger ute. Til slutt har man en situasjon med alle arter av skallbrenning i det indre av stjernen, i et volum som ikke er større enn jorda. Avslutningen dannes av fusjon med sluttproduktet jern.

- h)** Sluttstadiet for sola (og andre stjerner med lav masse) er en hvit dverg. Beskriv dette sluttstadiet. Tegn inn plasseringen av hvite dverger i Hertzsprung-Russel diagrammet.

Hvit dverg stadiet nås etter at fusjonsprosessene opphører. For sola er dette fusjon av helium til karbon. I en hvit dverg er tettheten høy nok til at atomene i det indre arranges i en slags krystallstruktur, mens elektronene flyter fritt rundt som i et metall. Lysstyrken blir veldig lav etter som stjerneresten kjøles ned ved utstråling og temperaturen, som til å begynne med er høy, vil etter hvert avta. En hvit dverg kan ikke ha masse større enn 1.4 solmasser og er på størrelse med jorda. [Sola ender dermed opp som en slags diamant på størrelse med jorda, idet diamanter er krystallinsk kullstoff.]

- i)** Hva er sluttstadiet for massiv stjerner ( $M > 10 - 30M_{Sol}$ )?

Sluttstadiet er en nøytronstjerne. Den består av nøytroner, pakket sammen til tettheter som de man finner i atomkjerner. Diameteren av nøytronstjernen er bare 20-30 km og massen er mellom 1.4 og 3 solmasser. Hvis sluttproduktet overstiger 3 solmasser, får man trolig et sort hull. [Nøytronstjernen dannes i en supernova eksplosjon, som samtidig blåser flere solmasser av stjernematerie ut i rommet.]

### 3. Småspørsmål I – Svar kort på følgende

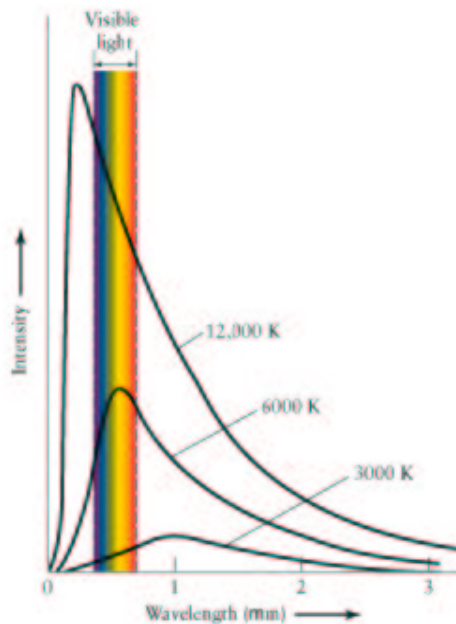
- a)** Hva er ekliptikken?

Solas (tilsynelatende) bane på himmelen mellom stjernene. Noe mindre presist angis det også som jordas bane i rommet. Begge

svar gir brukbar uttelling, i min utregning hhv. 1 og 2.

- b) Hvorfor er det varmere om sommeren enn om vinteren? Angi to faktorer som medvirker til dette.

Sola står om sommeren høyt på himmelen og beskriver om dagen en lang og høy bue fra øst mot vest. Det medfører at: a - Sola er oppe en større del av døgnet, og b - Solstrålene treffer i middel jordoverflata under en høyere vinkel med overflata, dvs. mer loddrett innfall. Det betyr at en gitt mengde innstrålt energi konsentreres over et mindre areal og oppvarmingen blir kraftigere.



Figur 4: Spekteret for sort stråling ved tre temperaturer

- c) Skisser spekteret for strålingen fra legemer som sender ut sort stråling (black body radiation) ved 3 forskjellige temperaturer som vi vil betegne som, 'høy', 'middels' og 'lav'. Vis hvordan vi fra spekteret kan finne temperaturen av et legeme som stråler.

Noe à la Figur 4. Det er viktig å få med at bølgelengden for maksimal stråling forskyves mot lavere verdier når temperaturen øker og at dette kan brukes til å finne temperaturen til stråleren. Tegningen skal også demonstrere at strålingskurvene ved to forskjellige temperaturer aldri krysser hverandre.

- d) Stråler stjerner som sorte legemer (black bodies)? Begrunn svaret.

Bare tilnærmet, men avviket er ofte lite. En årsak til avvik er at stjernespektrere inneholder spektrallinjer; det gjør ikke i strålingen fra sorte legemer.

- e) Jupiter og Saturn sender ut mer stråling enn de mottar fra sola. Hva er forklaringen for Jupiters vedkommende?

Trolig er Jupiter stor nok til at den ennå ikke har strålt ut all sin opprinnelige varme. [Jupiter ble opprinnelig varmet opp ved at den trakk seg sammen, 'falt inn' i sitt eget gravitasjonsfelt.] Et annet mulig bidrag kan være at planeten ennå ikke er helt ferdig med å trekke seg sammen.

- e) Hvordan forklares den ekstra strålingen fra Saturn?

For Saturn er forklaringen s.k. heliumregn. Helium kan kondensere fra gass til veske i det indre av Saturn. Dråpene av helium faller innover i Saturn og dette frigjør fall-energi. Videre vil kondensering i seg selv bety at fordampningsenergi blir frigjort. Dette er et annet, om enn mindre, bidrag.

- g) Hva er en nova?

En nova kan vi få i et dobbeltstjernesystem hvor den ene stjernen er en kjempestjerne og den andre en hvit dverg. Stjernene er tilstrekkelig nær hverandre til at gass kan flyte fra den utstrakte kjempestjernen og falle ned på den utbrente hvite dvergen. Hydrogenet dekker den varme overflaten, presses sammen i det enorme gravitasjonsfeltet og temperaturen øker. Når den når ca 10 millioner grader antennes en fusjonsprosess av hydrogen på overflaten av den hvite dvergen. Lysstyrken til systemet øker ti-tusen fold eller mer.

- h) Nevn minst en grunn til vi tror at en vesentlig del av massen i universet består av stoff vi ikke kan se fordi det angivelig ikke sender ut stråling, så kalt mørk masse (dark matter)?

Der er to hovedgrunner som begge har å gjøre med massers dynamikk. (Det er nok å angi en av dem.)

- Ser vi på stjerners rotasjon rundt galaksens sentrum, i vårt melkeveisystem, ser vi at rotasjonshastighetene i de ytre delene ikke avtar slik vi skulle vente dersom stjernen ble holdt på plass i sine baner av gravitasjonskrefter fra de stjernene som ligger nærmere sentrum av melkeveien (Jfr. Keplers andre lov i

Newtons formulering:  $v \propto \sqrt{M/a}$  hvor  $a$  er avstanden til melkeveiens sentrum og  $M$  er massen innenfor denne avstanden. I stedet er rotasjonshastigheten konstant eller svakt økende helt ut i de ytterste deler av Melkeveien. Stjernene skulle slynges ut av Melkeveien dersom de ikke erfarte tyngdekrefter fra masse utenom den som vi ser som lysende stjerner. Og denne mørke massen må strekke seg lenger ut enn den massefordelingen vi har i stjernene.

- På lignende vis kan vi demonstrere at hastighetene til galaksene i en galaksehopp er mye høyere enn forventet dersom vi regner med at hopen holdes sammen ved gjensidige tyngdekrefter fra strålende masse.

i) Skriv opp Hubbles lov og angi størrelsene som inngår i den. Hvordan kan vi bruke Hubbles lov til å anslå universets alder?

Hubbles lov sier at galaksene flyr bort fra oss med en hastighet,  $v$ , proporsjonal med avstanden til galaksen,  $d$ . Altså

$$v = H_0 d.$$

Proporsjonalitetsfaktoren  $H_0$  kalles Hubbles konstant.  $v$  måles fra Dopplerforskyvningen av lyset fra galaksene. Det er selve rommet som utvider seg og 'strekker ut' lysets bølgelengde. Hvis vi regner med at alt opprinnelig var samlet i et punkt og at galaksenes 'hastighet' ikke har endret seg siden den gang så kan vi skrive  $d = v \cdot \tau$  hvor  $\tau$  er universets alder. En sammenligning med Hubbles lov gir

$$\tau = 1/H_0$$

som verdi for universets alder. Med de beste målte verdier av  $H_0$  vinner man omtrent 14 milliarder år for  $\tau$ .

#### 4. Småspørsmål II – Svar kort på følgende

- a) Hva forstår vi med parallakse? Hva er forbindelsen mellom parallakse og avstandsmålet parsec? Hvor mange lysår (omtrent) er en parsec?

Parallakse er den lille, tilsynelatende bevegelsen til en nærliggende stjerne i forhold til fjerne stjerner lenger bak, når vi endrer vårt ståsted ved at jorda beveger seg rundt sola. En parsec er den avstanden vi er på dersom 1 astronomisk enhet, middelavstanden mellom sola og jorda, spenner over en vinkel på 1 buesekund. 1 parsec er omtrent 3.26 lysår.

- b) Angi Keplers tre lover.

- (a) Planetene går i ellipsebaner rundt sola med sola i det ene brennpunktet.
- (b) Radius vektor fra sola til en planet sveiper over det samme areal i like lange tidsintervaller - 'flatefarten' er konstant
- (c) Forholdet  $a^3/P^2 = C$  (konstant, det samme) for alle planetene i solsystemet.

- c) På planeten Venus er den gjennomsnittlige temperaturen på overflaten 460 °C. Dette er en høyere temperatur enn vi finner på Merkur, som ligger atskillig nærmere sola. Hva er forklaringen på den høye temperaturen? Hvorfor varierer temperaturen på Venus bare i liten utstrekning mellom dag og nattside, og mellom ekvatorområdene og polene?

Årsaken er at Venus har en tett atmosfære av vesentlig  $CO_2$  som er en drivhusgass, mens Merkur ikke har noen atmosfære. Drivhusgassen absorberer varmestråling (infrarød stråling) som sendes ut fra bakken idet den varmes opp av det synlige lyset. Innstrålt energi slipper dermed ikke umiddelbart ut, men absorberes og varmer opp Venus-atmosfæren inntil en likevekt inntreffer ved en forholdsvis høy temperatur. At man har liten variasjon over overflaten skyldes dels at atmosfæren på Venus er tett og holder godt på varmen, dels varmeutveksling gjennom vinder i høye luftlag.

- d) Jorda og Venus har begge forholdsvis få kratre etter meteornedslag. På jorda kjenner vi knappe 200 kratre, på Venus kanskje 1000-2000. Overflatene av Merkur og månen, og også av Mars, er derimot preget av stor krater-tetthet. Hva er årsaken er til dette?

Hva forteller disse forskjellene om alderen til de forskjellige planetoverflatene? Hvilke prosesser fornyer overflatene på jorda og Venus?

Dette henger sammen med at overflatene på Venus og jorda er forholdsvis unge. De skiftes ut 'ofte'. Platetektonikk gjør at havbunnen på jorda i middel er yngre enn 200 mill år. På kontinentene blir jordskorpa noe eldre, noen hundre millioner år før den transformeres, men dette er kort tid i forhold til jordens alder og i forhold til det tidsrom da meteorbombardementet var stort, for 3-4 milliarder år siden. Da ble de fleste kratrene på månen og de andre planetene dannet. Venus har ikke platetektonikk som jorda, men der tror man hele overflaten ble skiftet ut samtidig for kanskje 400 mill år siden i en planetvid vulkansk aktivitet.

- e) Vi vet at strålingen fra en gass øker raskt med med fjerde potens av temperaturen (Stefan-Boltzmanns lov). Stjernen Betelgeuse (M2 I) med en temperatur på overflaten på 3500 K, lyser likevel 60000 ganger sterkere enn sola (G2 V) med overflatetemperatur på 5800 K. Hva er forklaringen på dette? Hvordan knyttes forklaringen opp mot klassifikasjonskodene M2 I og G2 V? Forklar kort hva disse kodene betyr.

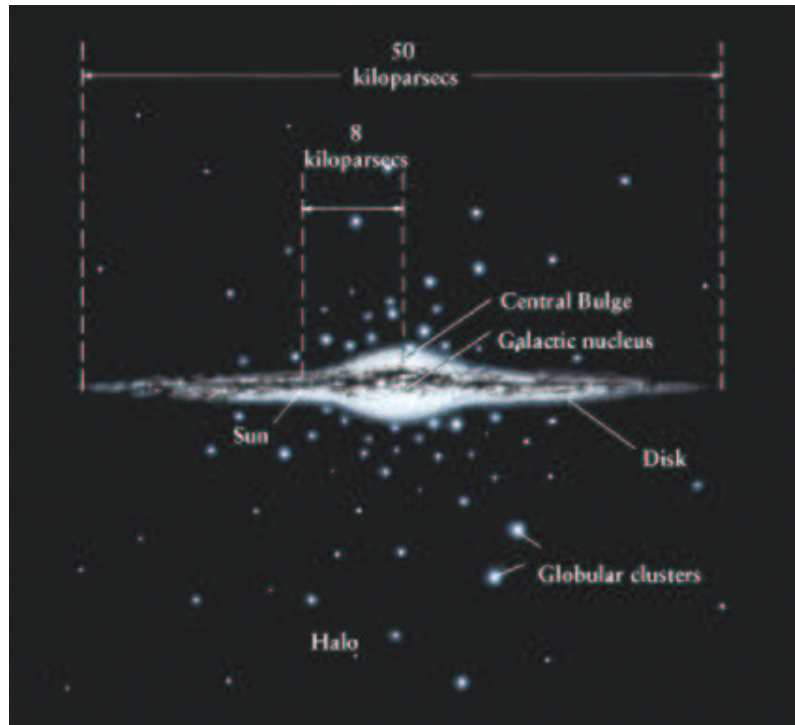
Lysstyrken (den absolutte) avhenger av et produkt av temperaturen i fjerde potens og overflatearealet, d.v.s. radien i andre potens. Altså

$$L \propto R^2 \cdot T^4.$$

Betelgeuse er mye, mye større enn sola i areal eller radius. Da lyser den sterkere enn sola med stor margin selv om den er atskillig kaldere. M2 og G2 angir spektralklassen og dermed temperaturen for Betelgeuse og sola, respektivt. Luminositetsklasse I sier at Betelgeuse er en stor supergigant, mens klasse V angir at sola ligger på hovedserien og følgelig er mye mindre.

- f) Tegn en skisse av vår egen galakse og beskriv de forskjellige delene den består av. Hvor i galaksen befinner de henholdsvis eldste og yngste stjernene seg?

Figurene må bli som Fig. 5 og 6 på neste side og bør inneholde alle elementene for god uttelling. Eldste stjerne i kulehoper, yngste i spiralarmen, i åpne hoper.



Figur 5: Melkeveien sett fra siden



Figur 6: Melkevein sett ovenfra

- g)** Nevn en viktig egenskap som skiller unge og gamle stjerner i Melkeveien.

Mengden eller hyppigheten av metaller i stjernene. Med metaller forstår vi alle grunnstoffer tyngre en helium. Metallene er lagd i det indre av massive stjerner og spres utover når disse stjernene kaster av ytre gasslag, eller eksploderer som supernovaer. De eldste stjernene har forholdsvis lite metaller fordi disse grunnstoffene ennå ikke var lagd i større mengder da stjernene ble dannet. Gamle og unge stjerner beveger seg også med forskjellige hastigheter i rommet.

- h)** Den kosmiske bakgrunnsstrålingen har omtrent samme strålingstemperatur i alle retninger, ca 2.73 K. Hvordan ble strålingen opprinnelig dannet og hvorfor er temperaturen nå så lav når den opprinnelig var 3000 K?

Det tidlige univers var ugjennomsiktig. Men ca 300,000 år etter big bang sank tettheten og temperaturen tilstrekkelig til at atomkjernene rekombinerte med elektronene og vi fikk nøytrale atomer. Da avtok absorpsjonen i universet, det ble gjennomsiktig og strålingen 'slapp ut'. Temperaturen var da omtrent 3000 K. Senere har universet utvidet seg en faktor 1000, bakgrunnsstrålingen fortynnes og får en temperatur nær 3 K.