

UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i: AST1010 Astronomi – en kosmisk reise

Eksamensdag: Onsdag 16. november 2016

Tid for eksamen: 09:00 – 12:00

Oppgavesettet er på 3 sider

Vedlegg: Ingen

Tillatte hjelpemidler: Ingen

Kontroller at oppgavesettet er komplett før du begynner å besvare spørsmålene.

Det anbefales å gi korte svar på hvert spørsmål (flertallet av delspørsmålene kan besvares med 1-3 setninger). På enkelte oppgaver kan en god figur spare deg for en del skriving, men pass på at det kommer tydelig fram hva figuren skal vise.

Hver av de 15 oppgavene teller likt ved bedømmelsen, men det legges vekt på at besvarelsen demonstrerer en viss kunnskapsbredde. Du bør derfor svare på så mange av spørsmålene som mulig.

OBS: Husk å sjekke at du har svart på alt hver oppgave spør om!

1. Hva er retrograd bevegelse?

Observerer vi dette for alle planeter i solsystemet, eller kun noen av dem (i så fall hvilke)?

Hvordan forklares dette i det (geosentriske) ptolemeiske verdensbildet?

Hvordan forklares dette i det (heliosentriske) kopernikanske verdensbildet?

Retrograd bevegelse er når en planet (sett fra jorden) ser ut til å stoppe opp i banen sin, for så å bevege seg i motsatt retning en stund, før den atter snur og fortsetter i opprinnelig retning (se figur 3.1, s 31 i læreboken).

Vi observerer dette for alle planeter vi kan observere i solsystemet – både indre og ytre. (Forklarende kommentar: For de indre planetene er jorden en ytre planet, og hvis jorden har retrograd bevegelse sett fra den indre planeten, må denne planeten også ha retrograd bevegelse sett fra jorden.)

I det ptolemeiske verdensbildet forklares dette med at planeten går i en bane (episykel) rundt et punkt i rommet som igjen går i bane (deferent) rundt universets sentrum (se figur 3.2, s 33 i læreboken).

I det kopernikanske verdensbildet forklares dette med at indre planeter tar igjen ytre planeter, og begge får dermed retrograd bevegelse i forhold til hverandre.

2. Skriv ned Keplers tre lover for planetenes bevegelser.
Forklar kort symbolene i Keplers 3. lov.
Hva må du endre i formelen for at Keplers 3. lov skal gjelde i et annet solsystem?

1. Lov: Planeter går i ellipsebaner med solen i ett av brennpunktene

2. Lov: Forbindelseslinjen mellom en planet og solen sveiper over like store areal i løpet av like lange tidsrom (se figur 5.5, side 61 i læreboken).

(Kommentar: En konsekvens av dette er at planeten beveger seg raskere når den er nær solen.)

3. Lov: $P^2 = ka^3$

P er omløpsperioden til planeten, og a er store halvakse i banen. k er en konstant som blir lik 1 i vårt solsystem når vi måler P i år og a i AU.

I andre solsystemer må man endre verdien for k.

(Kommentar: k sier noe om stjernens masse dersom stjernen er mye større enn planeten. Så en stjerne med akkurat samme masse som Solen kan også ha $k = 1$, men de fleste stjerner har en annen masse enn akkurat denne.)

3. Hva menes med et sort legeme?
Hvilke to egenskaper ved strålingen til et sort legeme kan man måle for å estimere legemets temperatur?
Skriv opp og forklar kort symbolene i de to fysiske lovene (formlene) som lar oss regne ut temperaturen.

Et sort legeme reflekterer ingen stråling. All strålingen legemet sender ut skyldes legemets egen temperatur.

(Kommentar: Du kan se solens stråling reflektert i et speil, men det betyr ikke at speilet har en temperatur på 5 770 K. Speilet er derfor ikke et sort legeme.)

Man kan måle den dominerende bølgelengden (fargen) og fluksen (effekt per arealenheter, målt i W per m²).

$$\lambda_{maks} = \frac{b}{T}$$

Her er λ_{maks} den dominerende bølgelengden, T temperaturen og b en konstant.

$$F = \sigma T^4$$

Her er F fluksen, T nok en gang temperaturen og σ en konstant.

4. Beskriv kort atmosfæren til Venus (tetthet, kjemisk innhold, temperatur).
Hva er hovedårsaken til at temperaturen på overflaten er som den er?

Venus' atmosfære er svært tett i forhold til jordens, og består hovedsakelig av CO₂, med skyer av svovelsyre. Temperaturen er svært høy – ca. 460 grader Celsius.

Hovedårsaken til denne høye temperaturen er CO₂-innholdet i atmosfæren, som har fått drivhuseffekten til å løpe løpsk på Venus.

5. Du underviser en skoleklasse om tidevann. En av elevene dine kommer med følgende tre påstander for å forklare fenomenet:

A) Jo mer massivt et himmellegeme er, jo sterkere påvirker tyngdekraften fra legemet tidevannshøyden på jorden.

B) Vi får høyvann på siden som vender mot månen fordi månens tyngdekraft påvirker vannet der sterkere enn den påvirker jorden som helhet.

C) På motsatt side av månen får vi høyvann på grunn av tyngdekraften fra mørk materie.

Er påstandene riktige, og hvilke(n) av dem er i så fall feil?

Hva ville du selv ha skrevet på alternativene som er feil slik at det blir riktig?

Påstand A) er feil. Avstanden til legemet er mer avgjørende enn massen til det. Vi merker mindre tidevannskrefter fra Solen enn vi gjør fra månen.

Påstand B) er helt riktig.

Påstand C) er feil. Det som skjer her er samme effekt som i påstand B), bare på motsatt side. Her trekker månen *mindre* på vannet enn på jorden som helhet, slik at det "henger igjen" i forhold til havbunnen.

(Kommentar: Det er mørk materie i solsystemet også, men lite i forhold til Solens masse. I tillegg er det jevnt fordelt rundt jorden, og gir dermed ikke opphav til tidevannskrefter.)

6. Hvilke fordeler er det ved å gjøre astronomiske observasjoner fra satellitter i bane rundt jorda sammenlignet med observasjoner fra bakken?

Man slipper at det er overskyet.

Man slipper lysforurensning fra de store byene.

Man slipper at turbulens i atmosfæren forstyrrer signalene.

Viktigste grunn: Jordatmosfæren er ikke gjennomsiktig for alle bølgelengder. Synlig lys, radiobølger og litt infrarødt er det eneste som slipper uforstyrret igjennom.

7. Planeten Merkur har ca. 4,6 ganger større masse enn Titan (en av Saturns måner). Hvorfor har Titan en tykk atmosfære når Merkur ikke har en stabil atmosfære? Hva er de viktigste faktorene som avgjør om en planet/måne kan ha en atmosfære? Hvorfor klarer noen planeter å holde på enkelte gasser, men ikke andre gasser?

Titan har atmosfære fordi den er kaldere enn Merkur, som er mye nærmere solen.

Massen til månen og planeten, samt temperaturen, er de to viktigste faktorene.

Temperatur er et mål på gjennomsnittlig bevegelsesenergi. Tunge gasspartikler har lavere hastighet enn lette partikler ved samme temperatur. Dermed kan de tunge partiklene fanges inn av planeten/månen, mens de lette slipper unna.

(Kommentar: Formelen for bevegelsesenergi er $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.)

8. Hva kalles den viktigste prosessen som produserer energi i solas kjerne?
Beskriv prosessen og spesifiser hvilke partikler som går inn i den og hvilke partikler som er resultatet.
Hvor kommer energien som prosessen produserer fra?

PP-kjeden (en fusjonsprosess).

Netto: $4 \text{ H} \rightarrow 1 \text{ He} + 2 \text{ positroner} + 2 \text{ nøytrinoer} + \text{energi}$

En fullstendig beskrivelse av prosessen: Se s. 151 i læreboken (eller figur i forelesningsnotatene).

Sluttproduktene veier mindre enn de 4 hydrogenkjernene vi startet med.

Masseforskjellen er omdannet til energi med sammenhengen $E = mc^2$.

(Kommentar: Når positronet som produseres møter et elektron, annihilerer disse hverandre som materie og antimaterie alltid gjør. Massen deres gjøres om til ekstra energi etter samme formel.)

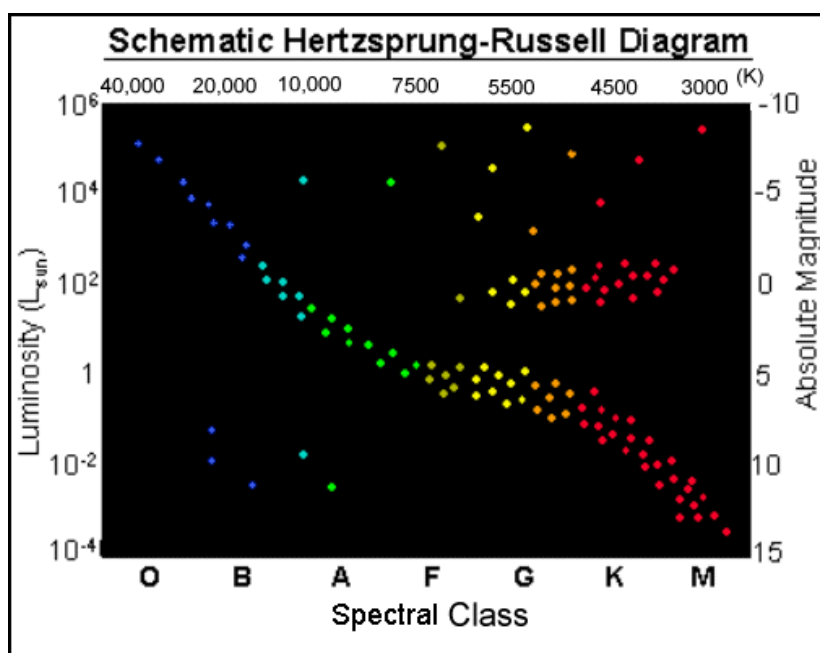
9. Hva er en stjernes parallakse?
Hva er sammenhengen mellom parallaksen og avstandsenheten parsec?

Parallakse er en nær stjernes tilsynelatende forflytning i forhold til fjerne stjerner på grunn av jordens bevegelse rundt solen. Parallakse måles som en vinkel, se figur 13.1 på side 169 i læreboken.

Når parallaksevinkelen til et objekt er ett buesekund (1/3600 av en grad), er objektet **1 parsec unna oss.**

(Kommentar: En kan videre regne ut at dette tilsvarer 3.26 lysår, men det er ikke denne sammenhengen vi er ute etter her.)

10. Tegn et Hertzsprung-Russell-diagram med fornuftige størrelser og riktige enheter langs aksene.
Tegn inn hvor vi finner hovedserien, sola, røde kjemper og hvite dverger.



Hovedserien er båndet som går fra øvre venstre til nedre høyre hjørne (med karakteristisk S-form).

Solen befinner seg der $L = 1$, spektralklasse G, $T = 5\,770\text{ K}$ (absolutt magnitudo på ca. +5).

Røde kjemper er gruppen med lyssterke, kalde stjerner over hovedserien til høyre.

Hvite dverger er gruppen med lyssvake, varme "stjerner" under hovedserien til venstre.

11. To stjerner, stjerne 1 og stjerne 2, befinner seg på hovedserien. Stjerne 1 tilhører spektralklasse O, mens stjerne 2 tilhører spektralklasse K.
 Hvilken av stjernene har høyest temperatur?
 Hvilken av stjernene stråler ut mest energi per sekund?
 Hvilken av stjernene vil leve lengst på hovedserien, og hvorfor?
 Hvis de to stjernene har akkurat samme tilsynelatende størrelsesklasse (magnitudo), hvilken av dem befinner seg lengst unna jorden?

Stjerne 1 har høyest temperatur (se HR-diagrammet i forrige oppgave).

Stjerne 1 stråler ut mest energi per sekund (se HR-diagram).

Stjerne 2 vil leve lengst på hovedserien fordi den stråler ut mindre energi per sekund enn stjerne 1 og brenner opp brennstoffet sitt (hydrogen) saktere.

(Kommentar: Selv om stjerne 2 har mindre brennstoff totalt, veies dette mer enn opp av forskjellene i forbrenningshastighet.)

Stjerne 1 befinner seg lengst unna jorden dersom de virker like lyssterke sett herfra, fordi vi vet at denne stjernen stråler mye kraftigere enn stjerne 2.

12. Forklar kort hva som skjer i en supernovaeksplosjon av type Ia.
 Nevn minst en spesiell omstendighet hvor en slik supernova kan oppstå.
 Forklar kort hvordan de kan brukes til å bestemme avstander til andre galakser.

En hvit dverg holdes stabil mot tyngdekraften av trykk fra degenererte elektroner. Om den hvite dvergen får tilført masse og kommer over 1.4 solmasser (Chandrasekhar-grensen), vil den kollapse. Karbon og oksygen som den hvite dvergen består av vil da fusjonere eksplosivt og sprengte den hvite dvergen i filler.

En slik supernova kan oppstå når to hvite dverger kolliderer, eller om en hvit dverg spiser masse fra en rød kjempestjerne i nærheten.

Slike supernovaer har stort sett alltid samme absolutte magnitudo (M). Dermed kan vi regne ut avstanden ved å måle tilsynelatende magnitudo (m), og se på forskjellen $m-M$. (Et slikt fenomen kalles en *standardlyskilde*.)

13. Hva er nøytronstjerner og under hvilke omstendigheter kan de oppstå?
 Hva er typisk masse og radius for en nøytronstjerne?
 Forklar kort hvorfor noen nøytronstjerner ser ut til å blinke. Hva kalles de da?

Nøytronstjerner er rester av kjernekkollaps-supernovaer. De oppstår når den opprinnelige stjernen var mellom 8 og 25 solmasser.

En typisk nøytronstjerne har masse som Solen, og radius på noen få km.
(Kommentar: Mer enn 3 km, som er Solens Schwarzschild-radius. Innenfor denne radien ville vi fått et sort hull på 1 solmasse.)

De blinkende nøytronstjernene sender ut stråling fra de magnetiske polene sine og roterer svært raskt. Når strålingen peker mot oss, ser vi et blink. Disse nøytronstjernene kalles *pulsarer*.

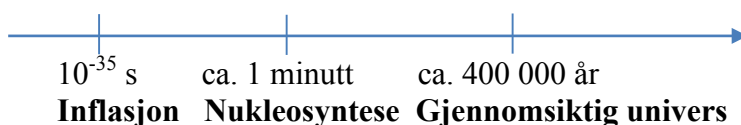
14. Hvorfor mener vi det må finnes mørk materie i vår egen galakse, Melkeveien?
 Hvordan er den mørke materien fordelt i Melkeveien i forhold til synlig materie?

Vi ser dette på hastighetskurvene til stjerner i Melkeveien. Stjernene lenger ute skulle gått saktere i banen sin om all massen var synlig masse. I stedet er hastighetene konstante etter et visst punkt når vi beveger oss lenger bort fra sentrum (se figur 15.7 på side 216 i læreboken).

Den mørke materien er jevnt fordelt i motsetning til synlig materie. Den ligger som en kule som strekker seg lenger ut enn den synlige materien gjør.

(Alternative svar: I følge forelesningsnotatene består Melkeveien av ca. 20% synlig materie og 80% mørk materie. I læreboken står det ca. 100 milliarder solmasser synlig materie og 1000 milliarder solmasser mørk materie.)

15. Forklar kort hva disse 3 begrepene betyr:
 Nukleosyntese, gjennomiktig univers og inflasjon.
 Plassér begrepene på riktig sted på denne tidslinjen for universet etter Big Bang:



Inflasjon var en svært voldsom utvidelse av det tidlige universet, hvor det utvidet seg enormt raskt. Inflasjonen varte bare en brøkdeler av et sekund.

Nukleosyntese var en fusjonsprosess hvor hydrogenkjerner gikk sammen til helium ble dannet så lenge temperaturen var høy nok til dette. Etter dette besto universet hovedsakelig av ca. $\frac{1}{4}$ helium og resten hydrogen.

(Kommentar: Små mengder tungt hydrogen (deuterium) og litium ble også dannet. Men tyngre grunnstoffer enn helium er stort sett dannet i stjerner og supernovaeksplosjoner.)

Universet ble gjennomiktig da det ble kaldt nok til at elektroner og atomkjerner gikk sammen til atomer. Før dette hadde strålingen kollidert med frie elektroner. Etter dette opphørte disse kollisjonene, slik at universet ble gjennomiktig for stråling. (Dette kalles også *rekombinasjon*.)