

# UNIVERSITETET I OSLO

## Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

**Eksamen i: AST1010 - Astronomi - en kosmisk reise**

**Eksamensdag: Onsdag 11. november 2015**

**Tid for eksamen: 0900-1200**

**Oppgavesettet er på 3 sider**

**Vedlegg: Ingen**

**Tillatte hjelpemidler: Ingen**

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

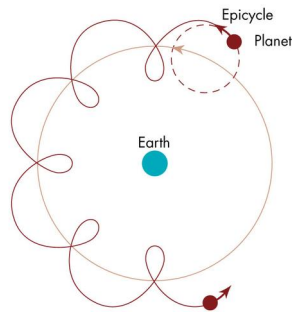
Det anbefales å gi korte svar på hvert spørsmål, men å svare på så mange av spørsmålene som mulig. Hvert spørsmål teller likt ved bedømmelsen, men det legges vekt på at besvarelsen demonstrerer en viss kunnskapsbredde.

1. Forklar årsaken til at vi har årstider på jorda.

Årsaken er at jordas rotasjonsakse heller omtrent 23 grader med normalen til baneplanet. Når den nordlige halvkule heller mot solen, øker antall soltimer i døgnet, og energien i solstrålene konsentreres på et mindre areal. Det fører til økt oppvarming, og da er det sommer i nord (og vinter på den sørlige halvkule.) Når den nordlige halvkule heller vekk fra solen, avtar antall soltimer i døgnet, og energien i solstrålene spres over et større areal. Da blir oppvarmingen mindre, og det er vinter i nord (og sommer på den sørlige halvkule.)

2. Forklar hva som menes med retrograd planetbevegelse. Hvordan ble slik bevegelse forklart i det ptolemeiske verdensbildet? Hvordan blir den forklart i det kopernikanske verdensbildet?

Retrograd bevegelse har vi når en planet (som for eksempel Mars) ser ut til å stoppe opp i banen sin, beveger seg i motsatt retning, for så igjen å snu og bevege seg i den opprinnelige retningen. I det ptolemeiske verdensbildet, som var geosentrisk, trengte man episykler for å forklare dette:



I det kopernikanske, heliosentriske verdensbildet er retrograd en naturlig konsekvens av at jorda i sin bane av og til tar igjen (eller blir tatt igjen av) og går forbi (eller blir forbigått av) andre planeter. Da vil det for en observatør på jorda se ut som om den andre planeten stopper opp og snur i banen sin.

### 3. Skriv ned Keplers tre lover for planetbevegelse.

Keplers første lov: Planetene går i ellipsebaner med sola i det ene brennpunktet

Keplers andre lov: Forbindelseslinja mellom sola og en planet sveiper over like store areal i løpet av like lange tidsrom.

Keplers tredje lov: For alle planeter gjelder  $a^3 = P^2$ , der  $a$  er store halvakse i planetbanen, målt i astronomiske enheter (AU), og  $P$  er omløpstiden, målt i år.

### 4. Hva er dopplereffekten? Forklar hvordan den kan brukes til å oppdage eksoplaneter.

Dopplereffekten gjelder for alle typer bølger, men i kurset har vi bare sett på elektromagnetiske bølger. Hvis en bølgekilde, for eksempel en stjerne, beveger seg langs synslinjen vår, vil bølgene vi mottar fra den ha større bølgelengde (rødforskyvning) enn de utsendte dersom kilden beveger seg vekk fra oss, kortere bølgelengde (blåforskyvning) dersom kilden er på vei mot oss. Graden av rød- eller blåforskyvning er proporsjonal med kildens fart langs synslinjen. Vi kan måle effekten ved å se ved hvilke bølgelengder vi finner kjente spektrallinjer i kildens spektrum.

Dette brukes til å oppdage eksoplaneter. Dersom en stjerne har en planet, vil stjernen og planeten bevege seg i baner rundt systemets tyngdepunkt. Det fører til at stjernen av og til beveger seg mot oss, av og til på tvers av synslinjen, og av og til vekk fra oss, og dette gjentar seg periodisk. Vi kan derfor se effekten av planeten ved at linjer i stjernens spektrum veksler periodisk mellom å være blåforskjøvet og rødforskjøvet.

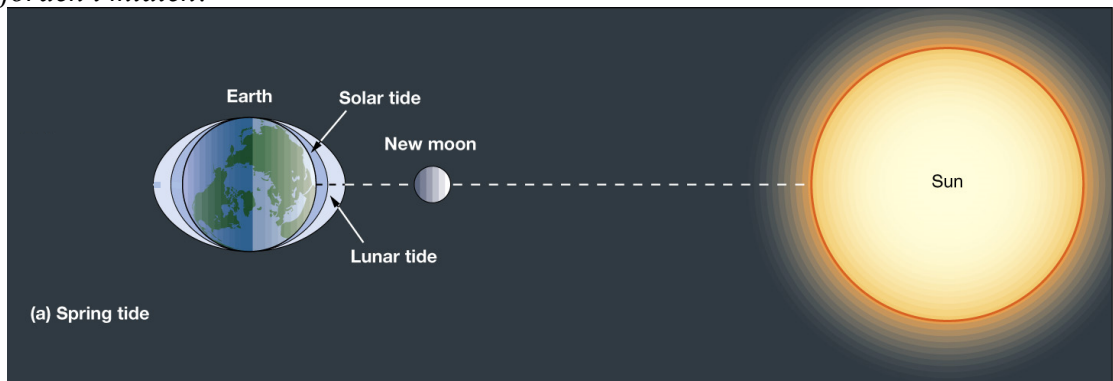
### 5. Nevn to grunner til at store teleskop bruker speil i stedet for linser til å samle lys.

En vanlig linse fokuserer ikke lys med ulik bølgelengde likt. Dette fører til såkalte fargefeil, og bildet linsen danner blir uskarpt. Det kan korrigeres for dette ved å sette sammen flere linser, men skal man lage store teleskop blir dette komplisert. Speil reflekterer alle bølgelengder likt, og har derfor ikke dette problemet. Når man lager et speil er det dessuten bare en flate som må slipes nøyaktig, i en linse er det alltid minst to. Kvalitetskravet til materialet som brukes blir også lavere i et speil, da strålingen ikke skal passere gjennom materialet.

6. I denne oppgaven får du oppgitt et spørsmål og en studentbesvarelse av dette spørsmålet. Du skal vurdere studentens besvarelse og forklare hvilke deler av den som er:
- helt riktige
  - delvis riktige, men inneholder mindre feil eller upresise formuleringer.
  - er helt gale

I de to siste tilfellene, forklar hva som er galt, og hvorfor (eventuelt hvordan du selv ville ha besvart oppgaven.)

Oppgavetekst: *I figur 1 ser du tidevannseffektene av at solen og månen ligger på linje sett fra jorden. Forklar hvordan tidevann oppstår, og spesielt hvorfor vi får høyvann på den siden av jorden som vender bort fra månen og solen. Hva ville man ha observert dersom solen og månen sto på hver sin side med jorden i midten?"*



Figur 1: Situasjonen i oppgave 6.

Studentens besvarelse: *Tidevann skyldes tyngdekraften. Jo større masse et himmellegeme har, desto mer ekstreme tidevannsforskjeller vil man observere på grunn av dette himmellegemet.*

*På siden som vender mot solen og månen stiger havnivået fordi vannet, som er flytende, kan bevege seg i tyngdefeltet. Havbunnen er derimot forankret i jordens sentrum, som påvirkes svakere fordi dette er lenger unna solen og månen.*

*På motsatt side av jorden må det være noe annet som trekker på vannet. Når vi observerer gravitasjonskrefter som ikke kommer fra synlige legemer, er det naturlig å anta at dette skyldes mørk materie.*

*Dersom månen og solen var på hver sin side, ville tyngdekraftene deres motvirket hverandre, og vi ville ikke fått springflo, men nippflo (det vil si mindre forskjell mellom lavvann og høyvann).*

Første avsnitt: Det er upresist å si at tidevann skyldes tyngdekraft, mer presist er det å si at det skyldes forskjeller i tyngdekraft. Styrken på tyngdekraften avtar omvendt proporsjonalt med kvadratet av avstanden. Det fører blant annet til at månen har større innvirkning på tidevannet enn sola. Sola har mye større masse, men månen er mye nærmere jorda.

Andre avsnitt: Dette er helt riktig.

Tredje avsnitt. Dette er helt galt. Vi trenger mørk materie blant annet for å forklare bevegelsene til stjerner og gass i spiralgalakser, men ikke for å forklare tidevannstoppen på siden som vender vekk fra sola og månen. Her stiger havnivået fordi gravitasjonstiltrekningen på havoverflaten er lavere enn gravitasjonskraften på jordas sentrum og havbunnen.

Fjerde avsnitt: Dette er feil. Vi får springflo også når månen og sola står på hver sin side.

7. Nevn to grunner til at det er lite sannsynlig å finne jordlignende liv på overflaten til Mars i dag.

Atmosfæren til Mars er tynn, og i tillegg mangler den et betydelig magnetfelt. Dette gjør at overflaten er ganske ubeskyttet mot UV- og annen høyenergetisk stråling fra sola, og mot kosmisk stråling. Uten denne beskyttelsen er det vanskelig for jordlignende liv å overleve. Jordlignende liv er også avhengig av rennende vann. Selv om det nylig ble oppdaget rennende vann på overflaten til Mars, er dette vannet bare til stede i kortere perioder, og i tillegg er det fylt av salter som er skadelige for organiske forbindelser. Dette er en annen grunn til at det er lite sannsynlig å finne jordlignende liv på overflaten til Mars i dag.

8. Hva besto det solare nøytrinoproblemet i? Hva var løsningen?

I kjernereaksjonene som produserer solas energi, dannes det også elektronnøytrinoer. Disse passerer ganske uhindret gjennom sola, og en del av dem vil treffe jorda. Basert på modeller for energiproduksjonen i sola, regnet man ut hvor mange nøytrinoer som treffer jorda. De første eksperimentene som registrerte disse nøytrinoene fant imidlertid bare omtrent 1/3 av dette antallet. Dette var det solare nøytrinoproblemet. Løsningen fant man da man oppdaget at nøytrinoene har masse, og at de veksler (oscillerer) mellom de tre ulike typene når de beveger seg gjennom rommet. Et elektronnøytrino fra sola kan ha blitt til et myon- eller taunøytrino når det treffer jorda. De første eksperimentene kunne bare registrere elektronnøytrinoer, og fant derfor færre enn forventet. Da man fikk eksperimenter som kunne registrere alle tre typer, stemte antallet med forutsigelsene.

9. Tegn et Hertzsprung-Russell-diagram. Sørg for å ha riktige enheter på aksene. Markér hvor vi finner hovedserien, solen, røde kjemper, superkjemper og hvite dverger i diagrammet.

Se læreboka, side 174.

10. To stjerner, stjerne 1 og stjerne 2, befinner seg på hovedserien. Stjerne 1 tilhører spektralklasse O, mens stjerne 2 tilhører spektralklasse K. Hvilken av de to stråler ut mest energi per sekund? Hvilken av stjerne 1 og stjerne 2 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 høyere temperatur og høyere utstråling (luminositet) enn stjerne 2. For stjerner på hovedserien er det en sammenheng mellom luminositet og masse: Luminositeten øker proporsjonalt med massen opphøyd i 3,5. Stjerne 1 har derfor høyere masse enn stjerne 2. Men mengden fusjonerbart hydrogen øker bare proporsjonalt med massen, så stjerne 1 vil bruke opp hydrogenet i kjernen mye raskere enn stjerne 2. Stjerne 2 vil derfor leve lengst på hovedserien. Stjerne 1 har høyere luminositet, og derfor lavere absolutt størrelsesklasse, enn stjerne 2. Hvis begge har samme tilsynelatende størrelsesklasse, må det bety at stjerne 1 er lengst unna, siden luminositeten vi registrerer her på jorda avtar omvendt proporsjonalt med kvadratet på avstanden til kilden.

11. Forklar hva som menes med Chandrasekhar-massen (Chandrasekhar-grensen) og hvorfor den er relevant i supernovaeksplosjoner av type 1a.

Chandrasekhar-massen er den øvre grensen for massen til en hvit dverg. Den er omtrent lik 1.4 solmasser, litt avhengig av den nøyaktige sammensetningen til den hvite dvergen. Overstiger massen denne verdien, klarer ikke lenger trykkgradienten fra den degenererte elektrongassen å motstå tyngdekraftene, og den hvite dvergen kolliderer.

I en supernovaeksplosjon av type 1a, havner massen til en hvit dverg over Chandrasekhar-grensen, for eksempel fordi det blir overført masse til den fra en rød kjempe. Den hvite dvergen kolliderer, og fusjon av karbon og oksygen starter. Det finnes ingen mekanisme som regulerer fusjonsraten, så den løper løpsk, og hele den hvite dvergen ekspanderer som en gigantisk fusjonsbombe. Fordi det er nesten den samme mengden fusjonerbart materiale, 1.4 solmasser, i alle slike eksplosjoner, har supernovaer av type 1a nesten samme absolutte størrelsesklasse. De brukes derfor som standardlyskilder i bestemmelse av avstand til fjerne galakser.

12. I tillegg til formen er det også andre viktige forskjeller mellom spiralgalakser og elliptiske galakser. Nevn to av dem.

Elliptiske galakser inneholder lite gass, nye stjerner dannes ikke, og de har derfor bare gamle stjerner. Spiralgalakser har mye gass i skiva, det dannes nye stjerner, og de har derfor en blanding av gamle og unge stjerner. Elliptiske galakser varierer i tillegg mye mer i størrelse enn spiralgalakser.

13. Hvorfor mener vi at Melkeveien må inneholde mørk materie?

Basert på fordelingen av den synlige materien, forventet man at gravitasjonsfeltet avtok mot kanten av skiva til Melkeveien, og at stjerner og gass derfor ville bevege seg med stadig lavere hastigheter når vi nærmer oss kanten. Observasjoner viser imidlertid at hastighetene er ganske konstante. Tyngdefeltet er derfor sterkere enn forventet, og dette forklares med at Melkeveien (og alle andre galakser) inneholder usynlig, mørk materie, og denne er det viktigste bidraget til tyngdefeltet.

14. Skriv ned Hubbles lov og forklar hva den betyr. Hva er sammenhengen mellom Hubblekonstanten og universets alder?

Hubbles lov sier at  $v = H_0 d$ , der  $v$  er farten som en galakse fjerner seg fra oss med,  $d$  er avstanden fra oss til galaksen og  $H_0$  er den såkalte Hubblekonstanten. Edwin Hubble påviste at spektrene til fjerne galakser er konsekvent rødforskjøvet. Dette tolket han som et resultat av dopplereffekten, og at de derfor er på vei vekk fra oss med hastigheter som er proporsjonale med avstanden. I universmodeller basert på den generelle relativitetsteorien tolkes Hubbles observasjoner som at rommet mellom galaksene utvider seg, og rødforskyvningen er en konsekvens at at bølgelengden til lys blir strukket av rommets ekspansjon mens lyset beveger seg mot oss.

Sammenhengen mellom universets alder  $t_0$  og Hubblekonstanten er at  $t_0 = 1 / H_0$ . Dette er bare en tilnærmet sammenheng der vi sier at alle galakser har beveget seg vekk med samme fart hele tiden. Det er ikke helt riktig, men når vi tar hensyn til perioder med deselerert og akselerert ekspansjon, kommer vi faktisk fram til et resultat som er ganske nær dette enkle estimatet. Med dagens beste estimater for verdien til  $H_0$  blir universets alder omtrent 14 milliarder år.

15. Hva består horisontproblemet i? Hvordan kan en inflasjonsfase i det tidlige univers løse dette problemet?

Horisontproblemet formuleres ofte ved hjelp av den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Denne strålingen begynte å bevege seg fritt gjennom universet da nøytrale atomer ble dannet, omtrent 400 000 år etter at ekspansjonen startet. Vi ser at denne strålingen har samme temperatur (med noen ørsmå variasjoner på noen titusendels kelvin) uansett hvilken retning vi observerer i. Men ingen fysisk vekselvirkning kan formidles med høyere hastigheter enn lysets. Dersom universet startet med ujevn temperatur, var det ikke tid til å etablere samme temperatur i områder som er større enn 400 000 lysår da bakgrunnsstrålingen ble sluppet fri (etter dette har den beveget seg uten noen vekselvirkninger, så temperaturlikheten kan ikke ha blitt etablert etter dette.) Allikevel ser vi at stråling som kommer fra områder som ligger milliarder av lysår unna hverandre, og som derfor aldri har vært i kontakt, har samme temperatur. Hvordan kan dette ha skjedd? Dette er horisontproblemet.

En inflasjonsfase er en kort periode med eksponentiell ekspansjon i det tidlige univers. I løpet av en svært liten brøkdel av et sekund vokste avstander i universet med en faktor på  $10^{26}$  eller mer. Denne voldsomme utvidelsen kan ta et område som var lite nok til at temperaturen hadde rukket å jevne seg ut og blåse det opp nok til at det innen i dag har rukket å bli mye større enn det observerbare univers. Dermed kan vi forklare hvorfor temperaturen til bakgrunnsstrålingen er så jevn.