

UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i: AST1010 - Astronomi - en kosmisk reise

Eksamensdag: Onsdag 15. november 2017

Tid for eksamen: 0900-1200

Oppgavesettet er på 2 sider

Vedlegg: Ingen

Tillatte hjelpemidler: Ingen

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

Det anbefales å gi korte svar på hvert spørsmål, og 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. Hva er nymåne og hva er fullmåne? Hvordan står sola og månen i forhold til jorda ved disse to månefasene? Forklar gjerne ved hjelp av en figur.

Det er nymåne når ikke noe av den siden av månen som vender mot jorda er opplyst av sola, og det er fullmåne når hele den siden som vender mot jorda er opplyst. Ved nymåne står månen mellom jorda og sola, mens ved fullmåne står jorda mellom sola og månen.

2. Forklar hva vi mener med at Mars har retrograd bevegelse. Hvordan ble dette forklart i det geosentriske verdensbildet? Hva er den heliosentriske forklaringen?

Mars har retrograd bevegelse når den (sett fra jorda) ser ut til å stoppe opp i banen sin, for så å bevege seg i motsatt retning en stund, før den igjen snur og fortsetter i opprinnelig retning (se figur 3.1, side 31 i læreboka.)

I det geosentriske (ptolemeiske) systemet ble retrograd bevegelse forklart ved at planeten går i en bane (episykel) i rommet som igjen

går i bane (deferent) rundt jorda. Når de to bevegelsene ble satt sammen, kunne man få retrograd bevegelse.

I det heliosentriske (kopernikanske) verdensbildet ble retrograd bevegelse forklart med at indre planeter tar igjen ytre planeter, og begge får dermed retrograd bevegelse i forhold til hverandre.

3. En planet går i bane rundt stjernen sin med store halvakse lik 4 AU. Finn omløpstiden til denne planeten med Keplers 3. lov. Stjernen har nøyaktig samme masse som solen (og mye større masse enn planeten.)

Svar: Siden stjerna har nøyaktig samme masse som sola, gjelder lyder Keplers 3. lov

$$P^2 = a^3$$

der P er omløpstiden i år og a er store halvakse i AU. Det er oppgitt at $a = 4$ AU, og det gir

$$P^2 = 4^3 = 64$$

Enten ved å vite det, eller ved å prøve meg frem, finner jeg ut at $8^2 = 64$, så

$$P = 8$$

Svar: Omløpstiden til planeten er 8 år.

4. Hvilke fordeler er det med å gjøre astronomiske observasjoner fra satellitter i bane rundt jorda sammenlignet med bakkebaserte observasjoner?

Bortsett fra synlig lys, radiobølger og noe infrarød stråling, blir elektromagnetisk stråling fra himmellegemer stoppet av jordatmosfæren. Vi må derfor opp over jordatmosfæren i satellitt for å observere gammastråling, røntgenstråling, ultrafiolett stråling og en del infrarød- og mikrobølgestråling. Den viktigste fordel er dermed at vi kan observere i hele det elektromagnetiske spektrum. En annen fordel er at vi unngår lysforurensning fra bebyggelse og støy fra atmosfæren.

5. Hvorfor har jordskorpa færre meteorkratre enn månens overflate?

Jorda har platetektonikk, og det fører til at jordskorpa hele tiden fornyes. I tillegg bidrar prosesser som erosjon til å viske ut kratre.

6. Forklar i korte trekk hvordan vi tenker oss at vårt eget solsystem ble dannet.

Solsystemet ble dannet fra en roterende sky av gass som begynte å trekke seg sammen på grunn av tyngdekraftene. Bevaring av spinn førte til at gassen hadde lettere for å falle inn langs rotasjonsaksen enn på tvers av den, slik at resultatet ble en flattrykt struktur. Små støvklumper slo seg sammen og dannet planetesimaler, som så klumpet seg sammen til protoplaneter i bane rundt protosola. Lette grunnstoffer som hydrogen og helium kunne ikke kondensere nær den varme protosola, men ble fraktet med solvinden til de ytre delene av solsystemet der de kondenserte rundt det som til slutt ble gasskjempene. Slik fikk vi steinplaneter innerst og gasskjemper ytterst i solsystemet.

7. Hva besto det solare nøytrinoproblemet i, og hvordan ble det løst?

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 bare omtrent 1/3 av dette antallet. Dette var det solare nøytrinoproblemet. Løsningen fant man da man oppdaget at nøytrinoene har masse og veksler (oscillerer) mellom de tre ulike nøytrinotypene 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 de fant derfor færre enn forventet. Da man fikk eksperimenter som kunne registrere alle tre typer, stemte antallet med forutsigelsene.

8. a) Hvor stor parallaksevinkel har en stjerne som er 1 pc unna oss?

b) En annen stjerne har en parallaksevinkel på 0.5 buesekunder.

Hva er avstanden mellom den og oss?

Sammenhengen mellom parallaksevinkel (p) målt i buesekunder og avstand (d) målt i parsec (pc) er

$$d = 1/p$$

a) Når avstanden er 1 pc, får vi

$$1 = 1/p$$

som gir $p = 1$, det vil si at parallaksevinkelen er 1 buesekund.

b) Når parallaksevinkelen er 0.5 buesekunder, får vi

$$d = 1/0.5 = 2$$

det vil si at avstanden er 2 pc.

9. Vi ser på to stjerner, A og B. Stjerne A har tilsynelatende størrelsesklasse 1 og absolutt størrelsesklasse 5, mens stjerne B har tilsynelatende størrelsesklasse 4 og absolutt størrelsesklasse 1. Hvilken av stjernene befinner seg lengst unna oss?

Svar: Jo mindre forskjell mellom tilsynelatende størrelsesklasse, m , og absolutt størrelsesklasse, M , desto nærmere er stjerna. For A er $m-M = 1-5 = -4$, mens for B har vi $m-M = 4-1 = 3$. Siden $-4 < 3$ er stjerne A nærmest, det vil si at B er lengst unna oss.

Alternativt: At stjerne A har tilsynelatende størrelsesklasse 1 mens stjerne B har tilsynelatende størrelsesklasse 4, betyr at A ser klarere ut enn B for oss. At stjerne A har absolutt størrelsesklasse 5, mens stjerne B har absolutt størrelsesklasse 1, betyr at stjerne A i virkeligheten stråler mindre enn stjerne B. At den ser ut for oss til å stråle sterkere må da komme av at den er nærmere oss enn B. Stjerne B er derfor lengst unna.

10. Når solen blir en rød kjempe, vil den ha lavere overflatetemperatur enn den har i dag. Samtidig vil luminositeten (utstrålt energi per sekund) øke betydelig. Hvordan er dette mulig?

Svar: Luminositeten (L) avhenger av både temperatur (T) og overflateareal, og sistnevnte er bestemt at stjernas radius (R):

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

Når sola blir en rød kjempe, øker radius kraftig. Derfor kan overflatetemperaturen avta samtidig som luminositeten øker. Den økte utstrålingen blir spredt over et mye større areal.

11. a) Planeten Lars går i bane rundt en stjerne som veier det dobbelte av solens masse. Vi måler at Lars bruker 2 år på ett omløp rundt stjernen. Bruk Keplers 3 lov til å finne store halvakse i Lars' bane (bruk $k=1/2$, siden stjernen veier dobbelt så mye som solen.)

b) Er det sannsynlig at Lars har jordlignende liv? Begrunn svaret.

a) Her bruker jeg Keplers 3. lov med $k=1/2$

$$P^2 = ka^3 = 0.5a^3$$

Jeg setter inn $P = 2$:

$$2^2 = 4 = 0.5a^3$$

Så ganger jeg med 2 på begge sider, som gir

$$8 = a^3$$

Da må a være lik 2, det vil si at store halvakse i banen til Lars er 2 AU.

b) Det er lite sannsynlig at Lars har jordlignende liv. Utviklingen av jordlignende liv krever stabile forhold over milliarder av år. En stjerne med det dobbelte av solas masse vil forlate hovedserien tidligere, etter bare ca. 1.8 milliarder år.

Alternativt: En stjerne med det dobbelte av solas masse har en luminositet som er mellom $2^3=8$ og $2^4=16$ ganger så stor som solas. Når Lars er dobbelt så langt unna stjerna si som jorda er fra sola, betyr det at den mottar en effekt som er et sted mellom $8/2^2=2$ og $16/2^2=4$ ganger så høy som jorda. Det betyr at den vil mest sannsynlig ha en så høy overflatetemperatur at vann ikke eksisterer i flytende form på overflaten, og da har den ikke jordlignende liv.

12. Hva er gravitasjonsbølger? Nevn én mulig kilde til slike.

Gravitasjonsbølger er bølger i tid og rom. En gravitasjonsbølge får det den treffer til å vekselvis strekkes ut og presses sammen.

Kollisjoner mellom sorte hull er en mulig kilde. En annen mulig kilde er kollisjoner mellom nøytronstjerner. Gravitasjonsbølger fra begge typer kilder er observert.

13. Forklar hvorfor vi mener det må finnes mørk materie i spiralgalakser.

Basert på fordelingen av den synlige massen, forventer vi at tyngdekraftene skal bli svakere ut mot kanten av skiva i en spiralgalakse, og at stjerner og gass derfor skal bevege seg i sirkelbaner med avtagende fart når vi nærmer oss kanten.

Observasjoner viser at dette ikke stemmer: Hastighetene flater ut på et konstant nivå. Den vanligste tolkningen av dette er at tyngdefeltet er sterkere enn forventet, og at dette skyldes at det finnes masse som vi ikke kan se: Mørk materie.

14. Hvorfor mener vi det må finnes mørk energi? Omtrent hvor mye av universets totale energi- og massetetthet utgjør den? Hvorfor kan ikke mørk materie og mørk energi være det samme stoffet?

Vi har observert at universets utvidelse akselerer. Vanlige former for materie og energi (inkludert mørk materie) lager tiltrekkende tyngdekrefter som bidrar til å få utvidelsen til å gå saktere. At utvidelsen tvert i mot akselerer kan tolkes som at det finnes en usynlig komponent som lager frastøtende tyngdekrefter, og denne komponenten kalles mørk energi. Observasjoner viser at den må utgjøre omtrent 70 % av universets totale masse- og energitetthet. Mørk materie gir, som nevnt, opphav til tiltrekkende tyngdekrefter, og mørk materie og mørk energi kan derfor ikke være det samme stoffet.

15. Med dagens verdi av Hubble-parameteren H_0 får vi at universets alder blir ca. 14 milliarder år. Hvor mye større/mindre ville Hubble-parameteren vært dersom galaksene beveget seg dobbelt så raskt vekk fra oss (med akkurat de samme avstandene)? Hvor gammelt ville universet ha vært med denne verdien av Hubble-parameteren?

Hubbles lov sier at

$$v = H_0 d$$

Dobler vi hastighetene (v), må vi også doble på den andre siden av likhetstegnet:

$$2v = 2H_0d$$

Dersom avstandene (d) skal være uforandret, må det bety at Hubbleparameteren må være dobbelt så stor.

Universets alder er gitt ved $t_0 = 1/H_0$, og dobler vi Hubbleparameteren blir alderen

$$t_0' = 1/(2H_0) = t_0/2 = 7 \text{ milliarder år.}$$