

Eksamen i AST1010 – den kosmiske reisen
Tidspunkt: 10 mai 2005 – kl 09.00 (3 timer)

Det anbefales å gi forholdsvis 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.

Til sensorene: Det er klart at de svareksemlene som er gitt er oftest for omfattende. Neste ingen vil kunne svare så fyldig med 3 timer til rådighet. Dette må det tas hensyn til under bedømmelsen.

1. Hvordan definerer vi lengdeenheten parsek (parsec)? Hvilke avstander måles vanligvis i parsek eller megaparsek (Mpc - millioner parsek)?

En parsek er den avstand hvor en astronomisk enhet (1 AU) spenner over en vinkel på ett buesekund, eller litt mindre konsist: en stjerne i en avstand på en parsek vil ha en parallaksevinkel på 1 buesekund.

Dette er et greit svar som kan honoreres med opp til 2.5. En toppskorer må likevel forklare hva som menes med stjerners parallaksebevegelse og/eller si noe riktig om hvor store parallakser stjernene har, hvorfor stjerneparallakser ikke ble målt for i 1838, hva er de største avstander som i praksis kan bestemmes ved parallaksemetoder, osv.

Deler eller alt av følgende: Parsek brukes når man skal angi avstanden til stjerner eller galakser. 1 parsek er omlag 3.26 lysår.

2. Jordas rotasjonsakse danner en vinkel på 23 grader med retningen loddrett på jordas baneplan. Hvordan kan dette forklare at vi har årstider? Tegn gjerne en figur hvis du synes det gjør svaret klarere.

Man kan vise til Figur1-12. En skisse av innholdet i figuren og omtalen av den kan gi basis for en god bedømmelse. Dette er derfor den viktigste del av svaret og vil vise om kandidaten her en god forståelse av stoffet. Videre blir det å omtale at innstrålingen varierer med årstidene og at to faktorer bidrar.

1. Når nordpolen heller mot sola og vi har sommer på nordlige halvkule vil vi ha to effekter: Dagen i nord blir lenger fordi sola er oppe flere timer i døgnet.
2. Fordi sola står høyere på himmelen faller sollyset mer konsentrert på jordas overflate om sommeren enn om vinteren.

Begge effektene bør komme med for en topp skorer.

3. Under en total solformørkelse skjuler måneskiva hele sola. Forklar hvorfor totaliteten bare dekker et forholdsvis lite område på jorda. Kan man se den samme solformørkelsen som total på ulike steder på jorda som ligger langt fra hverandre i nord-sør retningen? Begrunn svaret.

Lengden av månens helskygge (umbra) er nokså nær (eller oftest litt kortere enn) middellavstanden mellom månen og jorda. Det betyr at helskyggen, hvis den i det hele når fram til jordoverflata, vil være liten og dermed dekke et område som er lite av utstrekning. Typisk bredde av totalitetssonen er 150-250 km bred.

Det går ikke an å se den samme solformørkelsen som total på steder som ligger langt fra hverandre i nord-sør retningen. Det er månens bevegelse på himmelen som i hovedsak gjør at totalitetsområdet beveger seg og månebanen ligger nær ekliptikken som igjen heller 23 grader med jordas ekvatorplan. Dermed vil totalitetsområdet sveipe over jordoverflata hovedsaklig ifra vest mot øst mens nord-sør bevegelsen er mye mindre. Jordas rotasjon rundt sin egen akse virker til å gi samme effekt.

4. Hva er de tre hovedegenskapene som karakteriserer teleskoper? Hvilken egenskap ved teleskoper er den viktigste grunn til at vi bygger og bruker dem.

De tre karakteristiske hovedegenskaper er:

- a. evne til å samle lys eller stråling,
- b. oppløsningsevne – evne til å skille to lyskilder som ligger nær hverandre, og
- c. evnen til å laget et forstørret bilde.

Oppløsningsevne er en viktig egenskap og oppløsningen øker desto større apertur teleskopet har. Men i praksis begrenses oppløsningen av lufturo i jordatmosfæren. Lysinnsamlende evne er den overlegent viktigste egenskapen, siden den tillater oss å se svakt lysende objekter og dermed se til universets grenser og tidens begynnelse. Forstørrelsen, som mange tror er viktig, er av minst betydning.

Her bør man kunne liste opp en, to eller alle tre egenskapene, rangere dem, og begrunne rangeringen. En riktig egenskap uten noe annet tull bør være nok til å henge inne på en 5 (E).

5. Hvorfor har hvert grunnstoff sitt eget karakteristiske sett av spektrallinjer? Hva kan denne egenskapen brukes til i astronomien?

Spektrallinjer oppstår når elektroner inne i atomene springer mellom to baner, to energinivåer og det i den forbindelse sendes ut eller absorberes stråling. Disse energinivåene varierer fra grunnstoff til grunnstoff. Derfor har hvert grunnstoff sitt særegne mønster av spektrallinjer. Dette gjør at man fra

spektrallinjene i spekteret til et objekt kan si hvilke grunnstoffer det inneholder (og dels hvor mye der er av et gitt grunnstoff).

Det kan tenkes at man får mange varianter på dette svaret og flere kan ha verdi. Dette er en konsis variant som burde kunne stå til en A, idet det er implisitt at kandidaten også kjenner til at $E = h\nu = h c/\lambda$.

6. Regn opp planetene i solsystemet. Start med den planeten som ligger nærmest sola og gå utover i solsystemet. Hvor mange av planetene var kjent i gammel tid (før år 1750)? Hvorfor kjente man ikke alle planetene i oldtiden? Syns du Pluto fortjener betegnelsen planet? Begrunn synspunktet ditt.

Planetene i rekkefølge: Merkur, Venus, Jorda, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto. (Rekkefølgen bør helst være korrekt. Dere får vurdere hvor sterkt man skal trekke for feil i ulike tilfeller. Jeg syns det er greit å sjekke at kandidatene har fått med seg en slik basiskunnskap selv om det er ent huskestoff.)

Man kjente ikke Uranus og Neptun i oldtiden fordi de er for svakt lysende til å kunne sees med det blotte øyet. (Herschel oppdaget Uranus i 1782, Neptun ble oppdaget i 1846 og Pluto først i 1931. Alt dette er opplysninger som ikke er nødvendige for en god uttelling.)

På siste spørsmål er det ikke noe fasitsvar. Her får man bedømme kandidatens begrunnelse for sitt svar, hva det nå enn er.

7. Det er påvist planeter og planetsystemer rundt andre stjerner enn vår sol. Hvordan gjøres dette? Ligner de observerte planetsystemene på vårt solsystem?

Det finnes i dag tre/fire måter å påvise planetsystemer rundt andre stjerner.

- a. Fra måling av Doppleirforskyvinger registreres at stjernens hastighet i synslinjens retning varierer litt fordi den, i tillegg til andre bevegelser, går i bane rundt det felles tyngdepunkt for stjernen og planeten(e).
Tilleggsopplysning kunne være at de målte hastighetene har verdier på omlag +/- 50 eller mindre, er mye lavere enn den som vanligvis registrerer for dobbeltstjerner og at dette er den metoden som har ført til den overveiende del av oppdagelser av planetsystemer rundt andre stjerner.
- b. En annen metode måler små svingninger i stjernens egenbevegelse over himmelen, som igjen skyldes at stjerne og planet beveger seg rundt et felles tyngdepunkt. (Til nå er ingen planetsystemer oppdaget på denne måten.)
- c. Formørkelsesmetoden registrerer en liten endring (ca. 1%) i stjernens intensitet idet planeten passerer foran stjernen sett fra jorda. 5-6 planeter er påvist med denne metoden.
- d. En siste metode går ut på direkte å observere en planet rundt en stjerne, nok den beste metoden og den man vil komme til i fremtiden.

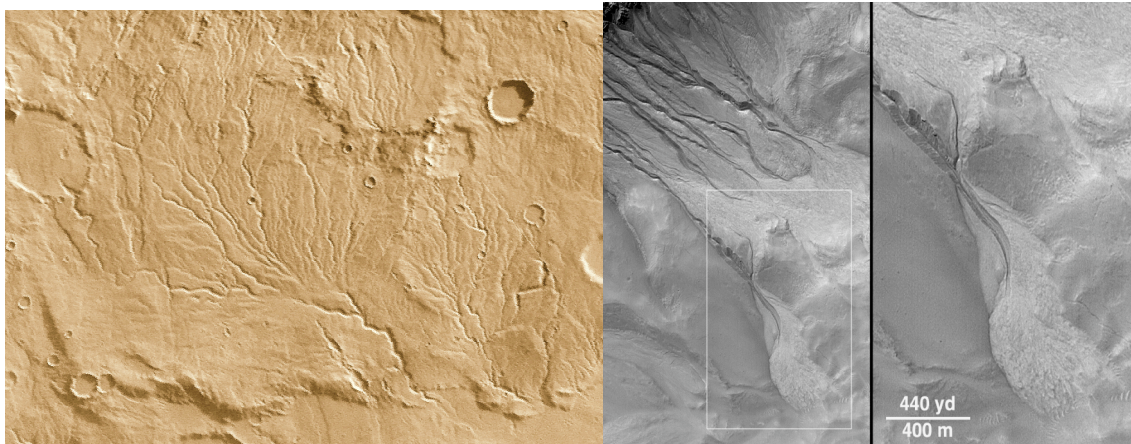
Denne teksten er svært omfattende og en kortere versjon, men med tre eller alle fire metodene bør være nok for en topp skore. På den andre siden kunne man også bemerke at metodene 1-3 favoriserer store planeter.

De planetsystemer man har oppdaget ligner ikke vårt. De fleste planetene er massive, som Saturn eller Jupiter, eller flere ganger Jupiters masse og de går i baner med avstand mindre enn 1 AU fra sine soler. Mange har sterkt elliptiske baner.

8. Hva er den viktigste grunnen til at jordskorpa ikke er oversådd med meteorkratre slik tilfellet er for månens overflate?

Grunnen er at jordskorpa er mye yngre enn månens overflate. Gamle kratre blir da visket ut, Jordskorpa fornyes hele tiden gjennom platetektonikk som gjør at ny skorpe oppstår, mens gammel skorpe presse ned i mantelen, Jordas skorpe er i middel bare 200.400 millioner år, mens månens skorpe ikke er blitt fornyet, men er minst 3 milliarder år gammel og enda eldre utenfor "havene".

9. Hva forteller bildene nedenfor om mulighetene for at det en gang har vært vann på overflaten av Mars? Kan det finnes *flytende* vann på Mars i dag? Begrunn svaret.



Figur 1. To landskap på Mars tatt fra Mars Global Surveyor i bane rundt Mars. Bildet til venstre dekker et område på 150 x 100 km. I bildene til høyre er målestokken angitt.

Begge bildene viser elve- eller bekkeleier på Mars hvor det har flytt vann. På bildet til høyre, som viser et lite område på noen km, dreier det seg om korte "bekker" som kan være laget av en brå flom hvor vannet raskt har fordampet eller bokstavelig talt har sunket i jorda. Til venstre ser vi spor etter et system av elver i stor skala hvor vann har flytt over store avstander. Dette kan ikke ha

skjedde nylig, jfr. også nærvær av ganske store kratre etter meteornedslag i elvesletta. Det må være en stund siden vannet som laget disse omfattende formasjonene eksisterte.

Det kan ikke finnes flytende vann på Mars i dag. Middelsestemperaturen er for lav, -55 C , og trykket er bare 0.06 bar , slik at vannets kokepunkt ligger nær 0 C , som også er frysepunktet. Vann vil derfor hovedsaklig finnes som is eller damp, men ikke i flytende form.

10. Det indre av Uranus og Neptun består for en stor del av komprimert vann. Forklar hvorfor vi har forholdsvis store mengder vann i disse planetene mens det på Merkur, Venus og Mars og også på jorda, bare finnes små vannmengder. (Hint: tenk på hvordan teorien om solsystemets dannelse forklarer hvorfor vi i den indre del av solsystemet får dannet planeter av grunnstoffer og molekyler som først fordampes ved høye temperaturer.)

Vann med sin kondensasjonstemperatur på 100 C er lett fordampelig stoff og ville i solsystemets tidlige liv befunnet seg i gassform nær sola (eller protosola). Derfra ville det blitt blåst bort av lystrykk (kollisjoner med fotoner) og revet med av sterk solar vind inntil det kom ut i det som er det ytre solsystem hvor det kunne kondensere til vann og fryse til is, danne måner, kometkjerner, Kuiperbelteobjekter og store deler av planetene Uranus og Neptun.

11. Hva er tilsynelatende magnitudo? Anta at to stjerner har tilsynelatende magnitudoer, $m_1 = 5.35$ og $m_2 = 0.35$. Hvilken stjerne (1 eller 2) ser ut til å lyse sterkest? Hvor mange ganger sterkere måler vi at den sterke stjernen lyser i forhold til den svake?

Tilsynelatende magnitudo er et mål på hvor sterk en stjerne tar seg ut for oss. Lysstyrken klassifiseres på en skala som går fra 1 til 6 for de synlige stjernene. De 5 magnitudoer svarer til en faktor 100 i lysstyrke og et sprang på en magnitudo svarer til en faktor i stråling på $2.512\dots$ idet $2.512^5 = 100$. I magnitudeskalaen har sterke stjerner lavest tall. Stjerne 2 ($m=0.35$) er derfor sterkest og siden magnitudeforskjellen er 5 dreier det seg om en forskjell i intensitet med en faktor 100.

12. Forklar hvordan vi kan benytte dobbeltstjerner til å måle massene til stjerner? (Hint: Husk Keplers 3dje lov i Newtons versjon.)

Vi observerer banene til dobbeltstjernene rundt et felles tyngdepunkt. Da kan vi legge fast omløpsperioden, P , og middellavstanden, a , mellom dem og får

$$a^3/P^2 = M_1 + M_2.$$

Her måler vi a i AU, P i år og massene i solmasser. Dersom vi også kjenner banene, middellavstandene a_1 og a_2 til hver av stjernene så kjenner vi også forholdet mellom massene, og fra summen og forholdet bestemmer vi massene til hver av stjernene.

13. Rommet mellom stjernene er fylt av gass og støv i form av skyer eller tåker. En type av tåker kalles mørke tåker (dark nebulae) eller kjempestore molekylskyer (giant molecular clouds). Hva består de av? Hvordan observeres slike mørke skyer? Hvilken rolle spiller de for dannelse av stjerner?

De mørke tåkene består nesten bare av molekyler og især av molekylært hydrogen H_2 . De er tette og stråling fra bakgrunnskilder absorberes i skyene. Skyene kommer derfor opp som mørke områder på en lys bakgrunn. De kan også observeres på radiobølgelengder eller det i infrarøde spektralområdet. Det er lettere å observere linjer fra molekylet CO enn fra H_2 og mange molekylskyer blir derfor påvist fra CO linjer heller enn fra linjene fra molekylært hydrogen selv om antallet CO molekyler er faktor 10,000 lavere enn antallet hydrogenmolekyler.

Molekylskyene er tette ($n = 10^2 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$ og kalde $T = 10 \text{ K}$). Dette gjør at man kan få gravitasjonskollaps slik gassen begynner å trekke seg sammen til en stjerne, gjerne etter en ytre sammenpressing som starter prosessen.

14. Hvordan kan vi kartlegge skyene av nøytral hydrogen i Melkeveien og finne ut at den er en spiralgalakse? Tegn gjerne en figur som illustrerer metoden.

De fleste interstellare skyer består av nøytral atomisk hydrogen, H. Disse kan vi kartlegge ved å se på strålingen fra nøytralt hydrogen i 21 cm linjen i radioområdet. Denne linjen sendes ut når elektronspinn og kjernespinn skifter mellom å være antiparallele og parallelle. Ved å se hvordan 21 cm strålingen langs mange synslinjer er Doppleirforskjøvet kan vi skjelne fra hverandre de individuelle skyene som sender ut de forskjellige og plassere dem i galaksen, ved hjelp av en modell for galaksens rotasjon (se figur 14-4 i boka).

15. Nevn to (av flere) metoder som brukes for å måle de store avstander i universet til fjerne galakser.

- Man kan bruke strålingen fra supernovaer av type SN Ia som standard lyskilde. Det viser seg at stort sett har alle disse supernovaene den samme lysstyrken. (Vi tar ikke hensyn til finesser i svaret.)
- Tully Fisher metoden er en annen grei metode, hvor man finner lysstyrken for en galakse fra bredden av f.eks. 21 cm radiolinjen den sender ut. Det blir gjort bruk av en empirisk relasjon funnet fra andre deler av avstandsstigen,

men den er rimelig fordi massive galakser både lyser sterkest og roterer raskest og dermed gir de bredeste linjene.

- c. Cepheidemetoden – lysstyrken for Cepheider har en lineær sammenheng med pulsasjonsmetode.

Topp om to av metoden er med og korrekt beskrevet.

16. Hva er den kosmiske mikrobølgestrålingen og hva forteller den oss om hvordan universet oppsto?

Den kosmiske mikrobølgestrålingen er sort stråling med en temperatur på ca. 3 K som kommer med samme intensitet fra alle steder på himmelkula (den er homogen og isotropt fordelt). Den er en nedkjølt rest av strålingen vi hadde for 14 milliarder år siden og nedkjølingen på grunn av at universet har utvidet seg er grunnen til den lave temperaturen. Den kosmiske mikrobølgestrålingen bekrefter Big Bang teorien, men er vanskelig å forklare med andre modeller for universet.