UiO Institutt for teoretisk astrofys
Universitetet i Oslo

Rosseland Centre for Solar Physics

Norsk Astronomiolympiade

Oppgavesett (og Løsning) runde 2

skoleåret 2022/2023

Dag: valgfri dag i uke 5 (30. januar - 5. februar 2023)

Hjelpemidler: Kalkulator, skrivesaker og konstanter og formler oppgitt nedenfor

Tid: 90 minutter

Oppgavesettet består av flervalgsoppgaver. Det er oppgitt fire mulige svar for hver oppgave - A, B, C og D. Kryss av bokstaven med det svaret du mener er riktig på svararket bakerst. Kun ett svaralternativ er rett for hver oppgave og alle spørsmål teller like mye. Ved avkrysning av mer enn ett alternativ på samme spørsmål gis 0 poeng. Det gis ikke negative poeng ved feil svar.

Oppgavesettet har 9 sider, og det er 20 oppgaver.

Lykke til!

Konstanter og formler

- 1 parsec (pc) ≈ 3.26 lysår
- Newtons gravitasjonslov: FG=GmM/r2, G≈6.67·10-11 $m^3/kg/s^2$
- Wiens forskyvningslov: max=b/T, b≈2.9·106 nm·K
- Stefan-Boltzmanns lov: F=σT4, σ≈5.67·10-8 $W/m^2/K^4$
- Tilsynelatende størrelsesklasse: m=-2.5log(F/F0)
- Hubbles lov: v=H0d, H0≈73 km/s/Mpc
- Jordas masse: 5.97·1024 kg
- Jordas radius: 6371 km

1) Andromedagalaksen er også kjent som M31. Hva står bokstaven "M" for i denne betegnelsen?

a) Méchain
b) Messier
c) Minkowski
d) Melotte

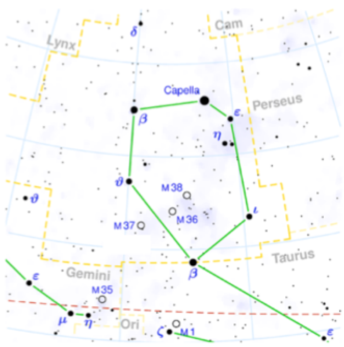
Solution: b. Andromedagalaksen er listet som objekt nummer 31 i en katalog av diffuse, "kometlignende" himmelobjekter som ble utarbeidet av den franske astronomen Charles Messier (1730-1817). Noen av objektene (som f.eks. Andromedagalaksen) var allerede kjent fra før, mens andre ble oppdaget av Messier og hans kollega Pierre Méchain.

2) Din venn Sofie er på ryggsekktur jorden rundt og sender deg en melding om de flotte objektene hun ser på nattehimmelen, blant annet de Magellanske skyene, Kullsekken og Carinatåken. Hvilken av de følgende reisemålene på ruten hennes kan denne meldingen være sendt fra?

a) California
b) Japan
c) Chile
d) Marokko

Løsning: c. Alle disse objektene befinner seg langt ned på den sørlige himmelhalvkulen og er bare godt synlige fra områder nær ekvator og lenger sør. For eksempel ligger de Magellanske skyene på en deklinasjon omkring -70 grader, og er derfor bare synlige over horisonten på breddegrader lenger sør enn (90 - 70) = 20 grader nord. Chile er det eneste av disse reisemålene som ligger langt nok mot sør.

3) Hvilket stjernebilde er vist her :



a) Leo (Løven)
b) Boötes (Bjørnevokteren)

c) **Auriga (Kusken)**
d) Cetus (Sjømonsteret)

Løsning: c.

4) Nylig dukket det opp en gigantisk solflekk som var fire ganger større enn vår planet og kunne observeres med det blotte øye fra jorden (med bruk av solformørkelsesbriller som øyebeskyttelse). Hvordan oppstår solflekker?

a) Flekkene dannes fordi lyset fra disse områdene på solen blir fullstendig absorbert på vei mot jorden.
b) Himmelobjekter passerer mellom solen og jorden slik at de delene hvor vi ser solflekkene er blitt okkultert.
c) Sterke magnetfelt på solen gjør at områdene der vi ser solflekker er kaldere enn omgivelsene og derfor ser mørkere ut.
d) Solen er en gul dvergstjerne som allerede er omtrent halvveis gjennom sin livssyklus. Flekkene viser at solen har brukt opp en del av hydrogenet.

Løsning: c. Selv om solfysikerne fortsatt søker en bedre forståelse av hvordan solflekker oppstår og hvordan antallet og størrelsen til solflekker varierer med tiden vet vi helt sikkert at det er sterke magnetfelt som danner solflekker, og at de er mørke, sett i forhold til omgivelsene, fordi de er kjøligere.

5) Gitt en måling av utstrålingstettheten (utstrålt effekt per areal) til en stjerne, hvilke to lover er best egnet til å bestemme bølgelengden som bidrar mest til stjernens utstråling?

a) Rayleigh-Jeans' lov og Stefan-Boltzmanns lov
b) Stefan-Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov
c) Keplers tredje lov og Fourierloven om varmeledning
d) Wiens forskyvningslov og Newtons kjølelov

Løsning: b. Gitt stjernas utstrålingstetthet U, kan vi beregne stjernas overflatetemperatur T ved å bruke Stefan-Boltzmanns lov U $= \sigma T^4$, og deretter finne bølgelengden for maksimal strålingsintensitet fra and Wiens forskyvningslov $\lambda_{max} = b/T$. Begge disse lovene er konsekvenser av Plancks lov som beskriver strålingen for sorte legemer som kan brukes for stjerner.

6) Hva er Hertzsprung-Russell diagrammet?

a) Et diagram som viser sammenhengen mellom en stjernes masse og temperatur.
b) Et diagram som viser forholdet mellom en stjernes luminositet og avstand fra jorden.
c) Et diagram som viser forholdet mellom en stjernes masse og luminositet.
d) Et diagram som viser forholdet mellom luminositeten og temperaturen til en stjerne.

Løsning: d)

7) Transittfotometri er en måte for å oppdage en eksoplanet gjennom å måle et fall i moderstjernens lysstyrke når planeten passerer rett foran stjernen. Hva kan denne metoden fortelle oss om eksoplaneten ?

a) Dens radius.
b) Dens masse.
c) Dens temperatur.
d) Dens albedo.

Løsning: a. Størrelsen på fallet i den observerte lysstyrken når planeten passerer foran (og dekker en del av) stjernen avhenger av deres relative størrelser. Det er derfor naturlig nok radien til planeten vi kan få kunnskap om gjennom slike observasjoner.

8) Den kosmiske mikrobølgebakgrunnsstrålingen ble først målt ved en tilfeldighet i 1965. Strålingen som vi måler har vært direkte på vei mot oss siden…

a) Den første brøkdelen av et sekund etter Big Bang, da universet utvidet seg veldig hurtig.
b) Dannelsen av elektroner, protoner og nøytroner.
c) Dannelsen av den første nøytrale atomene, omkring 400 000 år etter Big Bang.
d) Dannelsen av de aller første stjernene, omkring 100 000 000 år etter Big Bang.

Løsning: c. De første hydrogenatomene ble dannet da det tette varme plasmaet som fylte det tidlige universet ble tilstrekkelig nedkjølt slik at protoner og elektroner kunne gå sammen og lage nøytrale atomer, ca. 400 000 år etter Big Bang. Dermed kunne fotoner bevege seg fritt gjennom universet uten å hele tiden bli spredt på frie elektroner. Disse fotonene utgjør det som vi i dag måler som kosmisk mikrobølgebakgrunnsstråling.

9) Parallaksen til Alfa Persei måles til å være 6,4 millibuesekunder. Omtrent hvor mange ganger lenger vekk fra jorden er Alfa Persei enn jorden er fra solen?

a) 32 000 000
b) 1 320 000
c) 132 000 000
d) 280 000 000

Løsning: a. Siden vi vet at avstanden mellom jorden on solen er 1 astronomisk enhet (AE), kan vi bruke parallaksen som følger: $1/(6{,}4*10^{-3})\cdot 206\ 265 \approx 32\ 000\ 000$AE, dvs. 32 millioner ganger avstanden mellom jorden og solen.

10) En astronaut reiser fra vårt solsystem til Sirius. Gitt at luminositeten til Sirius er 22 ganger solens luminositet, og at parallaksen til Sirius er 0,373", hvor mange lysår vil astronauten ha reist når Sirius og solen skinner like sterkt sett fra astronautens posisjon?

a) 1,53 lysår
b) 2,38 lysår
c) 0,47 lysår
d) 0,73 lysår

Løsning: a. Vi betegner avstanden mellom astronauten og solen som x, og avstanden mellom solen og Sirius som $R = \frac{1}{0{,}373}\,pc$. Vi kan da sette : $\frac{L_\odot}{x^2} = \frac{22L_\odot}{(R-x)^2}$, som gir oss følgende annengradsligning: $21x^2 + 2xR - R^2 = 0$, med løsninger $0{,}47pc$ og $-0{,}73pc$. Den negative løsningen er også en reell posisjon i verdensrommet, men den ligger ikke mellom Sirius og solen og er derfor ikke relevant for denne oppgaven. For å få avstanden i lysår må vi huske å gange med 3,26.

11) Jordas banehastighet rundt Sola er 30 km/s. Hva er den høyeste hastigheten en meteor kan ha relativt til oss når den nærmer seg Jordas atmosfære? Du kan anta at

meteoren har vært i en veldig elliptisk bane rundt Sola, som betyr at den startet med en hastighet som er nært null på en avstand som er mye større enn avstanden mellom Jorda og Sola.

a) 12 km/s
b) 30 km/s
c) 60 km/s
d) 72 km/s

Løsning: d. En meteor som går i en sirkelbane rundt Sola i motsatt retning i forhold til Jorda hadde truffet oss med en kollisjonshastighet på (30 + 30) km/s = 60 km/s, men dette er et egentlig ikke den maksimale kollisjonshastigheten. Et objekt som starter med nesten null hastighet på en veldig stor radius vil få en fart som kan regnes ut fra hvordan tapet i potensiell energi (som begynner på omtrent 0) blir gjort om til kinetisk energi ved 1 AU. Hvis vi sammenlikner dette med Jordas banehastighet (som kan regnes ut via Newtons andre lov med sentripetalakselerasjon og gravitasjonsloven), vil vi se at objektet kan ha en hastighet som er $\sqrt{2} \times$ ganger større enn Jordas banehastighet = 42 km/s. Den relative hastigheten i en kollisjon hadde da vært (30+42) km/s = 72 km/s. Noen elever kan muligens også huske at kollisjonshastigheten til den kjente meteorsvermen Leonidene er 71 km/s, og dermed utelukke alternativene a) - c). I denne utregningen så vi bort fra akselerasjonen som hadde kommet fra Jordas gravitasjon.

12) I et kunstig solsystem setter vi en ny planet inn i bane rundt Sola med akkurat samme baneradius som Jorda. Vi maler denne planeten deretter helt svart og flytter den slik at den nye baneradiusen er den samme som Mars sin. Gitt at temperaturen til denne planeten ikke har endret seg etter at vi flyttet den og at Mars sin baneradius er 1,5 ganger større enn Jorda sin, hva var planetens albedo, altså hvor mye lys reflekterte planeten før vi malte den svart?

a) 0,67
b) 0,56
c) 0,44
d) 0,81

Løsning: b. Ifølge Stefan-Boltzmanns lov, for at temperaturen skal forbli lik, må planeten absorbere (og stråle ut) den samme mengden energi. Mens den er i banen som er lik Jorda sin, absorberer den effekten gitt ved formelen $L_{\odot}\frac{S(1-A)}{4\pi r_{\oplus}^2}$, der S er planetens overflateareal, og A er albedo. Siden vi maler den svart før vi flytter den til Mars sin bane, er den nye verdien for albedo 0, og planeten absorberer dermed $L_{\odot}\frac{S}{4\pi r_M^2}$. Vi setter disse to uttrykkene lik hverandre og etter litt algebra, får vi $(1-A)=(r_{\oplus}/r_M)^2$. Herfra følger det at A = 0,56.

13) Subaruteleskopet på Hawaii har et hovedspeil som har en diameter på 8,2 m og er det største optiske teleskopet på jorda som bruker et såkalt ikke-segmentert speil. Hvis vi antar at lysets gjennomsnittlige bølgelengde er 550 nm, hva er den minste mulige vinkelen mellom to punktlyskilder som såvidt er synlige som to adskilte objekter for teleskopet?

a) **8,18 · 10^{-8} rad**
b) 6,7 · 10^{-8} rad
c) 3,0 · 10^{-8} rad
d) 1,5 · 10^{-8} rad

Løsning: a. Ved bruk av Rayleigh-kriteriet, kan vi enkelt uttrykke vinkelen som $\theta = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{D}$, og hvis vi setter inn verdiene for bølgelengde og diameter, får vi en vinkel på 8,18 · 10^{-8} rad.

14) Ifølge Keplers tredje lov er kvadratet til omløpstiden til en planet proporsjonal med tredjepotensen til den store halvaksen til planetens bane. Hvor lang tid tar det for Jupiter å fullføre et helt omløp rundt Sola, gitt at den er omtrent 5,2 astronomiske enheter unna Sola?

a) **11,86 år**
b) 2,28 år
c) 4,56 år
d) 140,60 år

Løsning: a. Vi bruker Keplers tredje lov $\frac{T_{Jupiter}^2}{T_{jord}^2} = (\frac{a_{Jupiter}}{a_{jord}})^3$
der T er omløpstiden og a er den store halvaksen. Siden vi vet at a_{jord} = 1AU og T_{jord}= 1 år, følger det at Jupiters omløpstid er = 11,1 ~11,85 år.

15) Satellitter som er i lav jordbane (LEO) er vanligvis mellom 160 og 2000 kilometer over Jordas overflate. Slike satellitter anvendes for diverse formål, blant annet jordobservasjoner, værvarsling og telekommunikasjon. Hva er banehastigheten (i km/s) til en satellitt som er plassert i en lav jordbane 1600 km over Jordas overflate?

a) 0,7 km/s
b) 7,0 km/s
c) 70,0 km/s
d) 700,0 km/s

Løsning: b. For å regne ut hastigheten kan vi benytte oss av formelen: $v = \sqrt{GM/r}$, der G er gravitasjonskonstanten, M er Jordas masse, og r er avstanden mellom satellitten og Jordas sentrum. Jordas radius er omtrent 6400 km, så det følger at hvis satellitten er 1600 km over overflaten, må avstanden være 8000 km. Innsatt i formelen, gir dette: $v = \sqrt{(6{,}67\ \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}9 \cdot 10^{24})/(8000 \cdot 10^{3})} = 7013{,}65\, m/s \approx$ 7,0 km/s.

16) Hubbles lov sier at galakser beveger seg vekk fra en observatør med en hastighet som øker proporsjonalt med avstanden mellom galaksen og observatøren. I tillegg til dette blir galakser påvirket av sin lokale gravitasjon som gjør at de faller mot senteret av sin lokale galaksegruppe. Denne bevegelsen, observert av en lokal observatør, er bedre kjent som pekuliærhastigheten. Hva er hastigheten til en galakse som vi observerer fra Jorda hvis galaksen er 1 Mpc unna og beveger seg mot Jorda med en pekuliærhastighet på 73 km/s?

a) Galaksen har tilsynelatende 0 hastighet relativt til en observatør på Jorda.
b) Galaksen virker som om den beveger seg vekk fra Jorda med en hastighet på 76 km/s
c) Galaksen virker som om den beveger seg mot fra Jorda med en hastighet på 76 km/s
d) Galaksen virker som om den beveger seg vekk fra Jorda med en hastighet på 146 Km/s

Løsning: a. $v = v_{pekuliær} + H_0 \cdot d = -73\frac{km}{s} + 73\frac{km}{s} = 0$

17) Hydrogen er et grunnstoff som er mye brukt innenfor spektroskopi på grunn av at det er mye av det i universet i tillegg til at det har et veldig karakteristisk emisjonsspekter. En spektrallinje som er mye brukt heter Hydrogen-α og har bølgelengde 656 nm. Vi analyserer emisjonsspekteret til en fjern galakse og legger merke til at bølgelengden nå er på 670nm. Hva kan være årsaken til dette?

a) Dette kan skyldes en målefeil - instrumentene som målte 670nm var mest sannsynlig ikke tilstrekkelig kalibrert.
b) Dette kan skyldes bevegelsen til galaksen vekk fra oss med en hastighet på omtrent 6400 km/s.
c) Dette kan skyldes bevegelsen til galaksen mot oss med en hastighet på omtrent 6270 km/s.
d) Dette kan skyldes galaksens rotasjon rundt sitt egen massesenter med en hastighet på 6000 km/s.

Løsning: b. Vi kan uttrykke hastigheten som $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c$ og vi får 6402 km/s når vi setter inn tallene fra oppgaven. Man kan også bare bruke grunnleggende kunnskap om Dopplereffekten og innse at bølgelengden fra galaksens emisjonsspekter er høyere og dermed konkludere med at det eneste rette alternativet er der galaksen beveger seg vekk fra oss.

18) For å studere effektene gravitasjon har på legemer i verdensrommet bruker man ofte numeriske simuleringer med datamaskiner. I en slik N-legeme simulering blir N partikler først plassert i en startkonfigurasjon. Deretter blir gravitasjonskreftene mellom alle partiklene beregnet og brukt til å oppdatere partiklenes posisjoner etter et gitt tidsintervall. Deretter blir gravitasjonskreftene mellom partiklene regnet ut for de nye posisjonene, og partiklenes posisjoner endret på nytt, osv., osv. Denne prosessen gjentas over et visst antall tidsintervaller. Hvis en datamaskin bruker tiden $T_1 = 1\ time$ for å simulere $N_1 = 1\ 000$ partikler, omtrent hvor lang tid T_2 vil datamaskinen bruke på å simulere $N_2 = 1\ 000\ 000$ partikler?

a) $T_2 = 3\ timer$
b) $T_2 = 1\ 000\ timer = 41\ dager$
c) $\boldsymbol{T_2 = 1\ 000\ 000\ timer = 114}$ **å$\boldsymbol{r}$**
d) $T_2 = 1\ 000\ 000\ 000\ timer = 114$ å$rtusener$

Løsning: c. Det største bidraget til tidbruken er de $N(N-1)$ regneoperasjonene som kreves for å beregne kreftene mellom alle partikkelpar (i ordnet rekkefølge). Andre regneoperasjoner, som å oppdatere posisjonene til alle N partikler, må bare utføres en gang per partikkel per tidsintervall, og blir relativt ubetydelig når N er stor. Hvis vi antar at hver operasjon bruker en tid t, vil kjøretiden til N-legeme simuleringen være

$T = N\ (N-1)\ t$. Dermed er, $\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2(N_2-1)}{N_1(N_1-1)}$, så $T_2 = \frac{10^6(10^6-1)}{10^3(10^3-1)}\ timer \approx$ $10^6\ timer$.

19) I kosmologi bruker vi skaleringsfaktoren $a(t)$ for å ta hensyn til utvidelsen av universet: enhver avstand $L(t_0)$ på tidspunktet t_0 blir $L(t) = a(t)L(t_0)$ på et annet tidspunkt t.

(Del I) Hvordan endres energitettheten $\epsilon = NE/V$ av en boks med volum $V = L^3$ som inneholder N materiepartikler av masse m og energi $E = mc^2$ med tid?

a) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)$
b) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^1$
c) $\boldsymbol{\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^3}$
d) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^4$

Løsning: c. Det er bare boksens volum $V(t) = L(t)^3$ som endrer seg med tid, så vi har at:

$\epsilon(t) = Nmc^2/L(t)^3 = Nmc^2/a(t)^3L(t_0)^3 = \epsilon(t_0)/a(t)^3$.

20) (Del II) Hvordan hadde energitettheten til boksen fra forrige oppgave endret seg med tiden hvis boksen i steden inneholdt N fotoner med bølgelengde λ og energi $E = hc/\lambda$?

a) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)$
b) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^1$
c) $\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^3$
d) $\boldsymbol{\epsilon(t) = \epsilon(t_0)\ /\ a(t)^4}$

Løsning: d. Både boksens volum$V(t) = L(t)^3$og fotonenes bølgelengde $\lambda(t)$ endrer seg med tid, og det følger at:

$$\epsilon(t) = Nhc/\lambda(t)L(t)^3 = Nhc/a(t)\lambda(t_0)a(t)^3L(t_0)^3 = \epsilon(t_0)/a(t)^4.$$