

Norsk Olympiade i Astronomi og Astrofysikk

Oppgavesett (og Løsning) runde 2

Skoleåret 2025/2026

Dag: valgfri dag i uke 4 (19 - 23 januar 2026)

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.

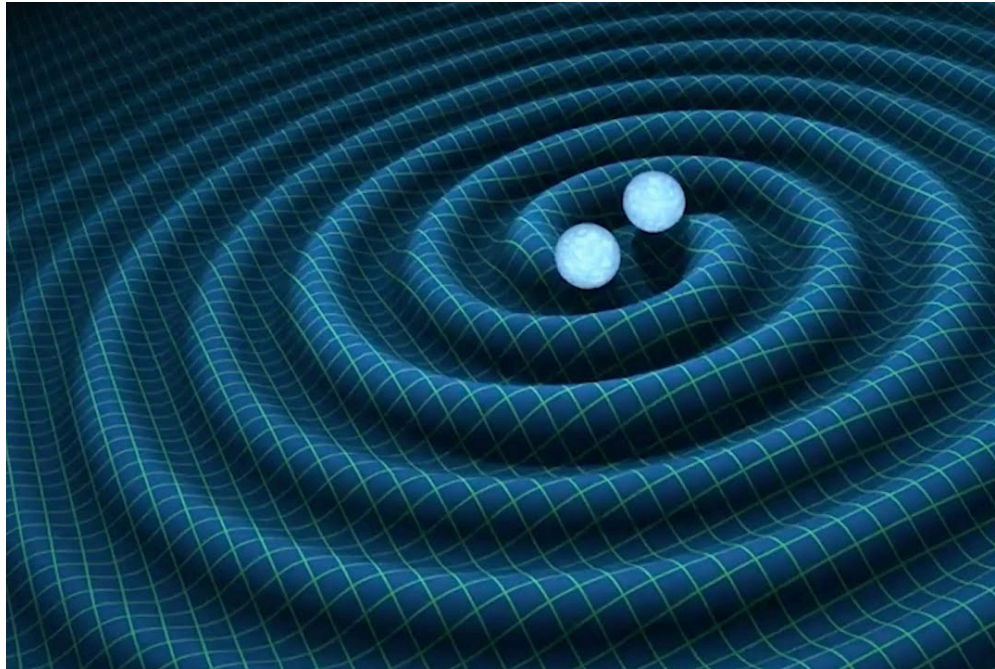
Oppgavesettet har 11 sider, og det er 20 oppgaver.

Lykke til!

Konstanter og formler

- Tilsynelatende størrelsesklasse: $m = -2,5 \log(F/F_0)$
- Hubbles lov: $v = H_0 d$, $H_0 \approx 73 \text{ km/s/Mpc}$
- Dopplerformelen: $v/c = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$
- Rayleigh-kriteriet: $= 1,22 \cdot \lambda/D \text{ rad}$
- Lysets hastighet $= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- 1 parsec (pc) $\approx 3,26 \text{ lysår}$
- 1 astronomisk enhet (AU) $\approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (gjennomsnittsavstanden mellom Sola og Jorda)
- 1 lysår $\approx 63241,1 \text{ AU}$
- Newtons gravitasjonslov: $F_G = GmM/r^2$, $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$
- Wiens forskyvningslov: $\lambda_{\max} = b/T$, $b \approx 2,9 \cdot 10^6 \text{ nm} \cdot \text{K}$
- Stefan-Boltzmann loven: $F = \sigma T^4$, $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$

- 1) Gravitasjonsbølger er bølger i tidrommet som genereres ved relativ bevegelse av masser. Det kreves en eller annen form for masse-asymmetri i et massivt system for at gravitasjonsbølger skal kunne genereres. (Bildekreditering: LIGO)



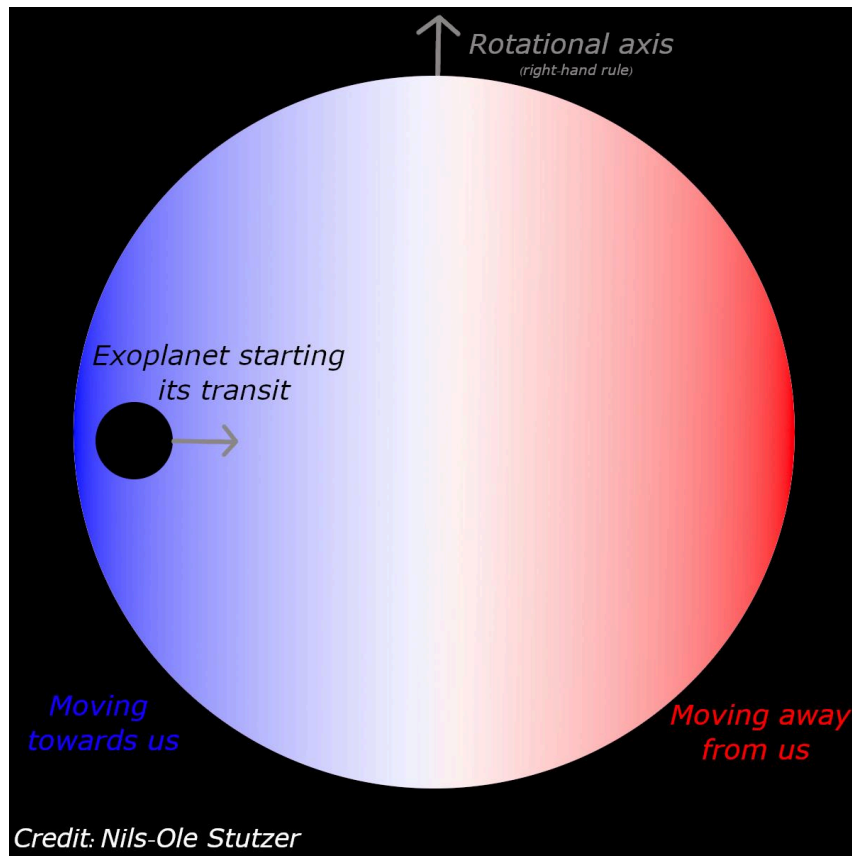
Hvilken av de følgende himmelobjekter/systemer vil **ikke** kunne generere målbare gravitasjonsbølger?

- a) Et binærsystem bestående av sorte hull
- b) En asymmetrisk pulsar, som er en hurtig roterende nøytonstjerne med et kraftig magnetfelt
- c) **En hvit dverg**
- d) En supernova som har en ujevn massefordeling når den eksploderer

Løsning: c) det ikke-statiske systemet må ha en tilstrekkelig asymmetrisk masse (dvs. ihvertfall en form for kvadrupolmoment) for å kunne produsere oscillasjoner i gravitasjonsfeltet.

2) Anta at du observerer en fjern stjerne som har en eksoplanet i bane omkring seg. Fra vår synsvinkel ser vi banen til eksoplaneten fra siden, slik at både rotasjonsaksen til stjerna og normalvektoren til eksoplanetens baneplan står vinkelrett på synsretningen. Fordi stjerna roterer vil lyset fra den siden av stjerna som beveger seg mot oss være blåforskjøvet, mens lyset fra den andre halvdelen av stjerna vil være rødforskjøvet. Anta at vi observerer spektrallinjen fra

hydrogen-alfa i emisjon fra stjerna. Når eksoplaneten passerer foran stjerna kommer den først inn på den blåforskjøvede siden av stjerna, som vist på figuren nedenfor. Vi måler hydrogen-alfa emisjonslinjen fra den roterende stjernen når planeten starter passasjen. Hvilken av følgende påstander er riktig ?



- a) Linjen vil være uendelig smal
- b) Linjen fra stjerna vil være vesentlig smalere enn i laboratiemålinger
- c) Linjen vil observeres ved en bølgelengde som er litt rødere enn der man ser den i laboratiemålinger**
- d) Linjen vil observeres ved en bølgelengde som er litt blåere enn der man ser den i laboratiemålinger

Løsning c): Rossiter-McLaughlin effekten: på grunn av stjernas rotasjon vil Doppler-effekten gjøre emisjonslinjen bredere enn i laboratiemålinger. Når eksoplaneten er i posisjonen som vist på figuren vil den blokkere noe av lyset fra den blå siden av emisjonslinjen, og linjesenteret/gjennomsnittsbølgelengden til linjen vil derfor forskyves litt mot den røde delen av spekteret.

3) Din venn som ble født nøyaktig samtidig som deg var nylig i Ecuador i en måned. Hen argumenterer for at hen er yngre enn deg nå siden Jorda har høyere rotasjonshastighet ved ekvator. Stemmer dette?

a) Nei - tidsdilatasjon skjer kun når objekter beveger seg med en hastighet i nærheten av lysets hastighet. Jordas rotasjonshastighet er altfor liten for at relativistiske effekter skal skje.

b) Ja - tidsdilatasjonen som skjer på grunn av den høyere rotasjonshastigheten gjør at vennen din er litt yngre, men forskjellen er kun på noen nanosekund per måned.

c) Nei - hen er egentlig eldre nå siden det å bevege seg raskere gjør at tida også går raskere for en observatør som beveger seg, ikke tregere.

d) Ja - effekten er ganske betydelig. Rotasjonshastigheten ved Ekvator ligger på omkring 465 m/s og gjør at vi kan merke en forskjell på flere sekunder per måned.

Løsning: b)

4) I et uendelig og statisk univers bør man kunne se en stjerne i alle mulige retninger, men når vi ser opp på nattehimmelen, ser vi mest mørke. Dette problemet er kjent som Olbers' paradoks. Din kompis, Isak Nytun, foreslår følgende: "At himmelen er mørk viser at universet må være endelig og statisk - det finnes rett og slett ikke nok stjerner som skulle fylt mørke fra alle retninger". Hvilken av følgende observasjoner viser at Isak Nytun tar feil og definitivt beviser at universet utvider seg?

a) Teleskoper har gjort at vi har funnet milliarder av galakser utenfor vår egen, som viser at det er langt flere stjerner enn det som er synlig med det blotte øyet

b) Universet består for det meste av mørk materie

c) Ved store skalaer ser vi at galakser er fordelt jevnt i alle retninger, noe som viser at universet har verken et senter eller en ytterkant

d) Lys fra fjerne galakser er rødforskjøvet, og jo fjernere galaksen er, jo mer rødforskjøvet er lyset.

Løsning: d)

5) På 1600-tallet formulerte Isaac Newton den universelle gravitasjonsloven. I 1916 foreslo Albert Einstein sin teori om generell relativitet (GR) der han tar høyde for observasjoner som ikke kunne forklares av Newtons teori. Selv om GR er ekvivalent med Newtons gravitasjon i systemer med lavt potensiale og lav hastighet, er formelen for GR fundamentalt ulikt fra Newtons. Gitt dette, hvilken av påstandene under stemmer om forholdet mellom GR og Newtons teori?

(Spørsmål foreslått av F. Neumann, vinner av Astronomi-OL 2023 and 2024)

a) GR inkluderer alle partiklene i et system samtidig og vi kan dermed kjøre numeriske N-legeme simuleringer mye raskere enn om vi hadde benyttet Newtons teori som regner ut krefter for hvert enkelt par partikler.

b) I GR er gravitasjon ikke en kraft, men en konsekvens av masse som krummer tidrommet. Legemer i fritt fall følger den korteste veien (den geodetiske kurven) i et krumt tidrom, og fra vårt perspektiv virker denne krumlinja bevegelsen som gravitasjonell tiltrekning

c) Newtons teori er en klassisk deterministisk teori som dermed ikke er kompatibel med moderne kvantemekanikk. GR har derimot Heisenbergs usikkerhetsprinsipp bakt inn i seg og er dermed kompatibel med kvantemekanikk.

d) I GR er gravitasjon egentlig en kompleks bølge som må beskrives som en kombinasjon av sinus- og cosinusledd, mens Newtons teori anser gravitasjon som en enkelt kraft.

Løsning: a) er feil fordi GR faktisk er mye mer kompleks matematisk sett; det krever at man løser ulineære likninger for ethvert punkt i både rom og tid, noe som gjør simuleringer betydelig treigere. c) er feil fordi begge teorier er klassiske og ingen av dem involverer kvantemekanikk; faktisk er GR inkompatibel med kvantemekanikk. d) er feil

6) Sola har en effektiv temperatur på omtrent $T_{eff} = 5777K$ og en radius på

$R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8$ m. Om vi ønsker å bygge et teleskop i en avstand 10,0 pc vekk fra sola, hva må diameteren til teleskopspeilet (omtrent) minst være for at vi skal kunne oppløse sola? Anta helt ideelle betingelser. Dessuten skal du basere svaret på kun bølgelengden λ_{max} der utstrålingen per bølgelengde er på sitt høyeste, funnet ved en svart legeme-approksimasjon. (Spørsmål foreslått av T. Strbkova, vinner av Astro-OL 2024)

- a) 1.36 m
- b) $1.36 \cdot 10^2$ m
- c) $1.36 \cdot 10^5$ m
- d) $1.36 \cdot 10^7$ m

Løsning: b) Wiens lov gir oss: $\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{2.90 \cdot 10^6 \text{ nm} \cdot K}{5777K} \approx 502 \text{ nm}$.

For å finne den omtrentlige vinkeldiameteren til sola, bruker vi forenklingen for små vinkler:

$$\theta \approx \frac{2R_{\odot}}{d} = \frac{2 \cdot 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}}{(10.0 \cdot 3.26) \text{ ly} \cdot (3600 \cdot 24 \cdot 365.24) \text{ s/y} \cdot (3.00 \cdot 10^8) \text{ m/s}} \approx 4.51 \cdot 10^{-9} \text{ rad}$$

Til slutt bruker vi Rayleigh-kriteriet for å finne svaret:

$$D = 1.22 \cdot \frac{\lambda_{max}}{\theta} = 1.22 \cdot \frac{502 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{4.51 \cdot 10^{-9} \text{ rad}} \approx 136 \text{ m}$$

7) Bildet knyttet til denne oppgaven viser en asterisme som vi kaller for “sommertrekanten” og som inneholder stjernene Vega, Deneb og Altair. Den synes best på nattehimmelen i sommertida, men kan sees gjennom nesten hele året fra den nordlige halvkulen. Hvilket av disse stjernebildene inneholder ikke noen av stjernene som danner sommertrekanten?



- a) Lyra
- b) **Andromeda**
- c) Cygnus
- d) Aquila

8) Høyde og asimut er koordinater i det følgende koordinatsystemet:

- a) **det horisontale**
- b) det ekvatorielle
- c) det galaktiske
- d) det kartesiske

9) Vi observerer at en stjerne går opp over horisonten 12.januar kl. 03:32 middelsoltid. Hvilket av disse tidspunktene er nærmest tidspunktet den samme stjerna går opp 12. februar? Vink: et siderisk døgn er omtrent 4 min kortere enn et soldøgn.

- a) 22:00
- b) 01:00**
- c) 06:00
- d) 13:00

Løsning: a). Siden et siderisk døgn er omtrent 4 min kortere enn 24 timer, betyr det at for hver dag som går, vil stjerna gå opp 4 min tidligere enn dagen før. Mellom datoene spesifisert i oppgaven har vi 31 dager, altså går stjerna opp $31 \cdot 4 = 124$ min tidligere enn observert. Dette svarer til 2t4min tidligere, som blir rundt 01:28, så alternativ b) er nærmest

10) Hvilket av følgende alternativ tar lengst tid å skje?

- a) Et foton fra Solas kjerne kommer seg helt opp til Solas overflate ved absorpsjon og gjenemisjon.**
- b) Et foton fra Solas overflate når Jorda
- c) Denne eksamenen går fra start til slutt.
- d) Den internasjonale romstasjonen går i en bane rundt Jorda.

Løsning: a). Selv om ett enkelt foton teknisk sett aldri når overflaten, vil virrevandringen som genereres av gjentatte kollisjoner mellom fotoner og elektroner/atomkjerne ta flere titusener år, mens de andre alternativene er betydelig kortere. (alternativene c) og d) er faktisk tilnærmet like!)

11) En veldig ambisiøs jernbaneingeniør har klart å legge togspor som følger den 30. breddegraden (altså 30 grader nord) helt nøyaktig. Du sitter på et tog som beveger seg østover langs dette sporet med en hastighet på 120 km/t. Omtrent

hvor lang tid vil dagtid vare for deg hvis datoen er 21. mars? Anta at Jordas radius er 6400 km.

- a) $3t$
- b) $11,0t$**
- c) $13t$
- d) $15,5t$

Løsning: b). Jorda roterer fra vest mot øst, som er den samme retninga toget går. Et punkt på Jordas overflate som ellers er stasjonært vil ha hastighet $v_0 = \frac{2\pi R_{\oplus}}{T} \cos \varphi \approx 1450 \frac{\text{km}}{t}$ relativt til Jordas senter, der φ er breddegraden, i dette tilfellet 30° . Siden toget beveger seg i samme retning som Jorda, vil dens hastighet relativt til Jordas senter være $v = v_0 + 120 \frac{\text{km}}{t} = 1570 \frac{\text{km}}{t}$. Et helt døgn vil derfor ikke oppleves som 24 timer, men heller som $T' = \frac{2\pi R_{\oplus}}{v} \cos \varphi \approx 22,06t$. Den 21. mars har vi vårjevndøgn, som betyr at dag og natt er av samme lengde, så vi kan konkludere at $T_{\text{dag}} \approx 11,0t$.

12) Det finnes flere empiriske relasjoner som brukes mye innenfor astronomi, der en av dem er den såkalte Tully-Fisher relasjonen som beskriver sammenhengen mellom rotasjonshastigheten til en spiralgalakse (angitt i $\frac{\text{km}}{\text{s}}$) og galaksens luminositet (angitt i enheter av solas luminositet $L_{\odot}$) ved proporsjonaliteten $L \propto v^4$. En slik galakse er M101, kjent som Spinneteingalaksen, og vi observerer dens hydrogen-alfa linje ($\lambda_0 = 656 \text{ nm}$) til å være $\Delta\lambda = 0,45 \text{ nm}$ bred. Gitt disse dataene, hvilken av følgende verdier er nærmest Spinneteingalaksen sin luminositet, hvis vi angir at proporsjonalitetskonstanten er $25 L_{\odot} \left(\frac{\text{km}}{\text{s}}\right)^{-4}$?

Vink: Fra runde 1 husker du kanskje at spektrallinjeforbredning skjer på grunn av dopplereffekten når objektet vi observerer roterer rundt sin egen akse.

- a) $1 \cdot L_{\odot}$
- b) $3,14 \cdot 10^6 L_{\odot}$
- c) $4,5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$**

d) $7 \cdot 10^{13} L_{\odot}$

Løsning: Først finner vi rotasjonshastigheten via Dopplereffekten:

$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$, som med innsatte tall gir $v \approx 206 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Når dette opphøyes i

fjerde potens og ganges med 25, får vi ca. $4,5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$.



Bilde: M101, med en inklinasjon på 30 grader, avbildet av Erik Sundheim, gjennom 35cm Deberitz-teleskopet ved Solobservatoriet på Harestua

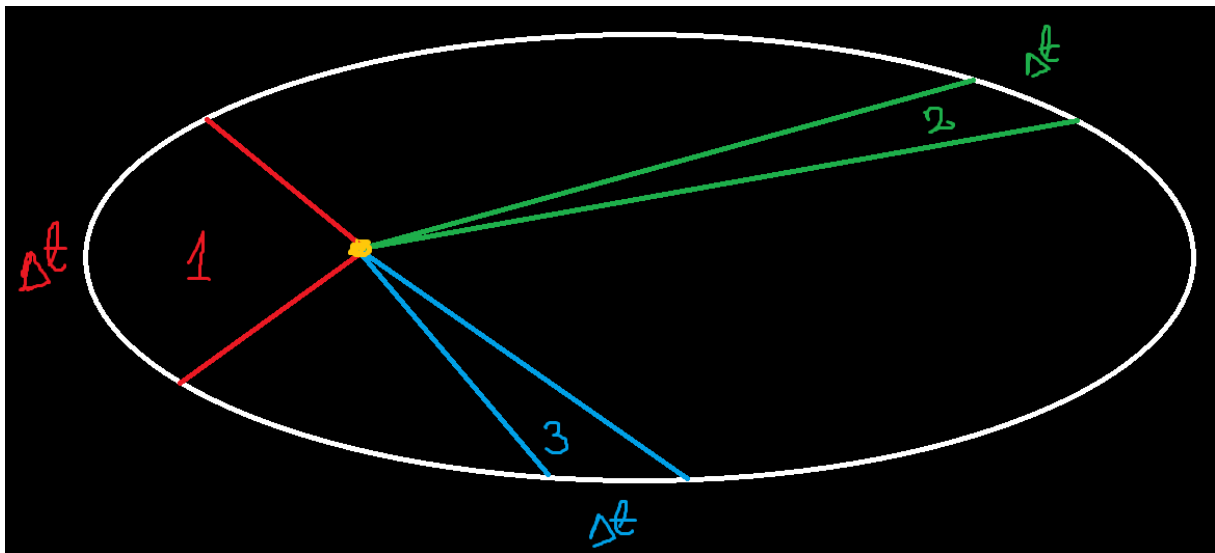
13) Egentlig observerer vi ikke M101 rett på. Den har en inklinasjon (helning) på ca. 30 grader, der 0 grader hadde betydd at vi ser på galaksen rett på og 90 grader hadde betydd at vi ser på den rett fra kanten. Påvirker dette resultatet i den forrige oppgaven, og i så fall hvordan og hvorfor?

- a) Nei, fordi dopplerforbredning er helt uavhengig av retningen vi observerer en galakse fra.
- b) Ja, fordi hastigheten vi regner ut via forbredningen ikke er hele rotasjonshastigheten, men bare en komponent, så den faktiske rotasjonshastigheten får vi når vi ganger den observerte med en faktor av $\sin(30^\circ)$, slik at luminositeten i virkeligheten er 1/16 av den vi regnet ut i den forrige oppgaven.
- c) Nei, fordi selv om den observerte hastigheten og den faktiske rotasjonshastigheten er forskjellige som regel på grunn av helningen, er faktoren vi multipliserer med egentlig $2 \cdot \sin(i)$ på grunn av geometrien.

Her er i helningen, så hele uttrykket i dette tilfellet blir bare 1, så vi får ingen forskjell når vi ganger.

- d) **Ja, fordi hastigheten vi regner ut via bredningen ikke er hele rotasjonshastigheten, men bare en komponent, så den faktiske rotasjonshastigheten får vi når vi deler den observerte med en faktor av $\sin(30^\circ)$, slik at luminositeten i virkeligheten er 16 ganger så stor som den vi regnet ut i den forrige oppgaven.**

14) Du observerer en planet som går i en elliptisk bane rundt sin vertstjerne som er markert som en gul prikk i ett av fokuspunktene til ellipsen på bildet under. Under observasjonene dine finner du at planeten bruker nøyaktig like mye tid å dekke områdene 1, 2 og 3. Gitt denne informasjonen, hvilket av områdene har størst areal?

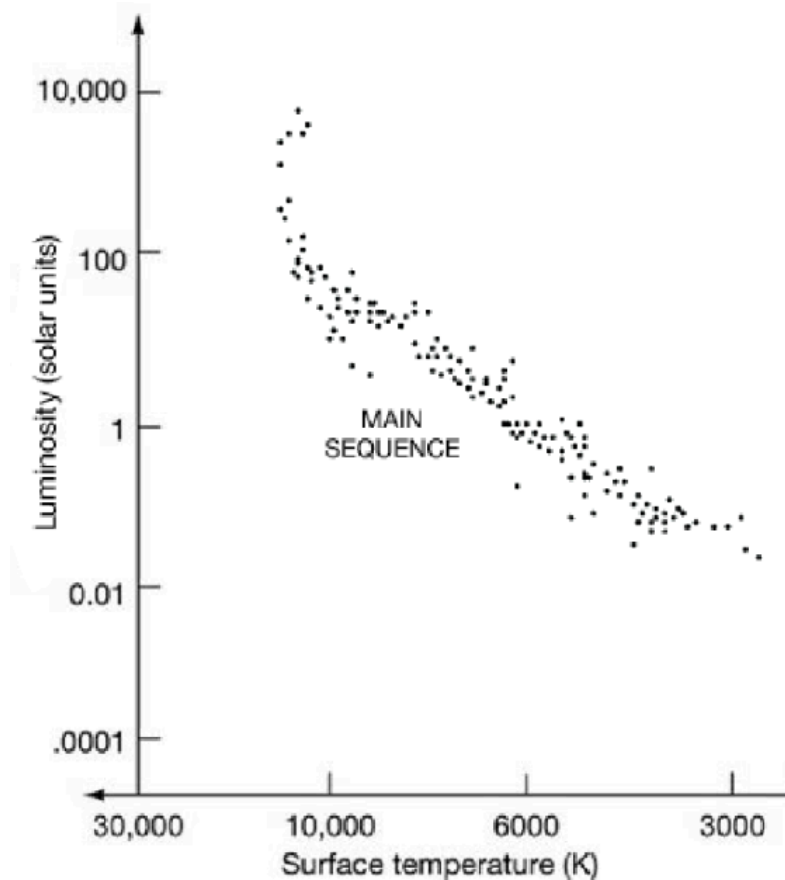


- a) 1, siden det er nærmest vertstjerna
- b) 2, siden det er lengst unna vertstjerna
- c) 3, siden den befinner seg der den deriverte av ellipsearealfunksjonen er null
- d) **Alle er helt like**

Løsning: d). Jfr. Keplers andre lov.

15) I stjernehopar antar vi at alle stjernene ble “født” omtrent samtidig, slik at når vi finner at stjerner går vekk fra hovedserien (som betyr at de har brent opp hydrogenlageret i kjernen sin), må det bety at de stjernene er like gamle som selve hopen.

Alderen til en stjerne på hovedserien kan estimeres ved bruk av en empirisk proporsjonalitet der den eneste informasjonen vi trenger er stjernas luminositet (effekt): Proporsjonaliteten er $t \propto L^{\frac{1}{\alpha}-1}$, der $\alpha = 3,5$ for stjerner i den øvre delen av hovedserien. Gitt dette og at Sola er ca. $t_{\odot} = 10$ Gyr (gigaår) gammel, hvilket av disse alternativene er et godt estimat for alderen til stjernehopen M45, også kjent som Pleiadene? Du kan få bruk for HR diagrammet til Pleiadene gjengitt på bildet nedenfor.



- a) 0.4 Gyr
- b) 2 Gyr
- c) 10 Gyr
- d) 20 Gyr

Løsning: a). Punktet der stjernene virker å forlate hovedserien er ca. ved

$$L = 100L_{\odot}, \text{ så vi får: } \frac{t}{t_{\odot}} = \left(\frac{100L_{\odot}}{L_{\odot}}\right)^{\frac{1}{3,5}-1} \Rightarrow t = t_{\odot} \cdot 100^{-0,714} \approx 0,4$$

Gyr.

16) En satellitt går i en elliptisk bane rundt Jorda. På sitt nærmeste er den $8.37 \cdot 10^6$ m fra Jordas senter, og på sitt fjerneste er den $25.1 \cdot 10^6$ m fra Jordas senter. Satellittens hastigheten ved perigeum er $8450 \frac{m}{s}$. Hva er hastigheten ved apogeum?

a) $2820 \frac{m}{s}$

b) $8450 \frac{m}{s}$

c) $25.350 \frac{m}{s}$

d) $4635 \frac{m}{s}$

Løsning: a). Med energibevaring får vi:

$$\frac{1}{2}mv_p^2 - G\frac{Mm}{R_p^2} = \frac{1}{2}mv_a^2 - G\frac{Mm}{R_a^2}, \text{ så}$$

$$v_a = \sqrt{2GM\left(-\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_a}\right) + v_p^2} \approx 2825 \frac{m}{s}, \text{ og } 2820m/s \text{ er dermed det nærmeste alternativet.}$$

17) Interstellær ekstinksjon (svekkelse av stjernelys) er når elektromagnetisk stråling absorberes og spres på sin vei mellom stjernene, noe som forårsaker en svekking av bakgrunnslys. Ekstinksjon er mer markant ved kortere bølgelengder og fører derfor også til at lyset blir "rødere" (infrarødt stråling vil bli mindre svekket sammenlignet med UV-stråling). En del av himmelen kan virke mørk på grunn av dette fenomenet. Hva er hovedårsaken til interstellær ekstinksjon? (*Spørsmål foreslått av T. Strbkova, vinner of Astro-OL 2024*).

a) Interstellært støv

b) Mørk materie

c) Svarte hull

d) Meteoror

Løsning: a). Interstellært støv er en av komponentene i det interstellare stoffet. Det består av elementer som Fe, Si, C, etc. og er for eksempel utstøtt av supernova-ekspløsjoner.

18) Stjerna Alpha Canis Majoris (α CMa), også kjent som Sirius, har tilsynelatende størrelsesklasse $m_s = -1,46$ og parallakse $p_s = 0,380$ buesekunder. Dobbelstjernesystemet Epsilon Boötis (ϵ Boo), også kjent som Izar, har tilsynelatende størrelsesklasse $m_I = 2,7$ og parallakse $p_I = 0,014$ buesekunder. Hvilket av disse himmellegemene har størst total luminositet, og hvor mange ganger større er det? Du kan få bruk for Pogsons formel: $m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_2}{F_1} \right)$.

- a) Izar, 16 ganger større
- b) Sirius, 16 ganger større
- c) Izar, 256 ganger større
- d) Sirius, 256 ganger større

Løsning: Fra Pogsons formel får vi at forholdet mellom fluksene er $\frac{F_I}{F_s} = 10^{0,4 \cdot (m_s - m_I)}$. Vi vet at fluksen er gitt ved $F = \frac{L}{4\pi R^2}$, der R er avstanden vi observerer fluksen fra, som i dette tilfellet er gitt ved den resiproke til parallaksen. Forholdet blir da: $\frac{L_I}{L_s} = 10^{0,4 \cdot (m_s - m_I)} \cdot \frac{p_s^2}{p_I^2} \approx 16$, som betyr at Izar er 16 ganger så lyssterk som Sirius, og at grunnen for at Sirius virker mye lyssterkere på himmelen er at den er mye nærmere.

19) Hvilket av følgende stjernebilder vil vi ikke kunne se en planet passere gjennom i nærmeste framtid?

- a) Tvillingene (Gem)
- b) Vannmannen (Aqr)
- c) Slangebæreren (Oph)
- d) Store Bjørn (UMa)

Solution: Store Bjørn er det eneste stjernebildet på denne lista som ikke ligger på Ekliptikken. Ekliptikken er en linje som går gjennom alle dyrekretsstjernebildene og representerer den tilsynelatende banen Sola og planetene tar langs himmelen. Astrologer har kun 12 stjernebilder i dyrekretsen sin, men i den astronomiske dyrekretsen har vi 13, der det ekstra stjernebildet er Slangebæreren.

20) Gravitasjonskraften på Saturns overflate er omtrent lik kraften på Jordens overflate. Hva er forholdet mellom unnslippningshastigheten på Saturns overflate sammenlignet med den på Jordens overflate? Anta at Saturns masse og radius er henholdsvis $5,6 \cdot 10^{26}$ kg og $5,8 \cdot 10^4$ km, og Jordens masse og radius er henholdsvis $6,0 \cdot 10^{24}$ kg og $6,4 \cdot 10^3$ km.

(Spørsmål foreslått av Nataniel Skjøndal-Bar, vinner av Astro-OL 2023).

- a) 1
- b) 2,9**
- c) 9,6
- d) 25

Løsning: Ved å benytte formelen for unnslippningsfarten, $v_e = \sqrt{\frac{2*GM}{r}}$, finner vi

at forholdet blir:
$$\frac{v_{jupiter}}{v_{earth}} = \sqrt{\frac{\frac{2*GM_{jupiter}}{r_{jupiter}}}{\frac{2*GM_{earth}}{r_{earth}}}} = 2,9$$