

Norsk Olympiade i Astronomi og Astrofysikk



Finaleoppgaver 2024/2025

Dato: Fredag, 21. mars 2025

Tillatte hjelpemidler: kalkulator, penn/blyant, linjal, planisfæren, konstanter og formler gitt nedenfor

Tid: maks. 150 minutter

Del 1 (17 flervalgsoppgaver): Det er fire mulige svaralternativ for hver oppgave - A, B, C og D. Bruk svararket for å markere ditt svar. Det er bare ett riktig svar per oppgave og alle oppgaver gir den samme poengsummen. Dersom flere enn ett alternativ er valgt, gis det null poeng for den oppgaven. Feil svar gir ikke negative poeng.

Del 2 (1 dataanalyseoppgave + 4 åpne oppgaver):

Begrunn svarene dine (vennligst skriv tydelig!), og skriv navnet ditt på alle ark du leverer. Maksimal oppnåelig poengsum er angitt for hver (del)oppgave.

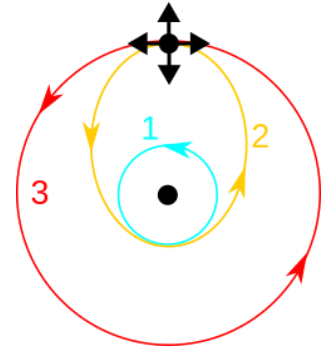
Lykke til!

Konstanter og formler:

- $1 \text{ AU} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- $1 \text{ parsec (pc)} \approx 3,26 \text{ lysår} \approx 206\,265 \text{ AU}$
- Newtons gravitasjonslov: $F = GmM/r^2$, $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$
- Keplers tredje lov: $a^3/P^2 = G(M + m)/4\pi^2$
- Wiens forskyvningslov: $\lambda_{\max} = b/T$, $b \approx 2,9 \cdot 10^6 \text{ nm}\cdot\text{K}$
- Stefan-Boltzmann loven: $F = \sigma T^4$, $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$
- Boltzmanns konstant: $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
- Tilsynelatende størrelsesklasse: $m = -2,5 \log (F/F_0)$
- Absolutt størrelsesklasse: $M = m - 5 \log_{10} (d/(10 \text{ pc}))$
- Hubbles lov: $v = H_0 d$, $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$
- Jordas masse og radius: $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ og 6371 km
- Solas masse og radius: $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ og $696\,340 \text{ km}$
- Månens avstand fra jorda: $3,8 \times 10^8 \text{ m}$
- Lysfarten: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- Fotonets energi: $E = hf = hc/\lambda$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
- Schwarzschild-radien: $R = 2GM/c^2$
- Oppløsningsevne: $\phi \approx 1,22 \frac{\lambda}{D}$
- Eksentrisiteten til en ellipse: $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$
- Rødforskyvning: $z = \lambda_{\text{obs}}/\lambda_{\text{utsendt}} - 1$
- Relativistisk Dopplereffekt: $\frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_{\text{utsendt}}} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$

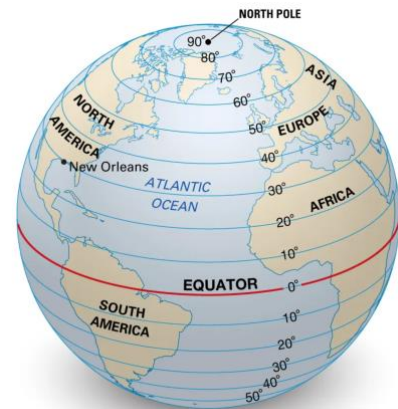
Del 1: Flervalgsoppgaver (1 poeng per oppgave)

- 1) Et romfartøy sendes opp til en sirkulær lav jordbane (1). Romfartøyet skal flyttes til en høyere jordbane som også er sirkulær (3) via en elliptisk overføringsbane (2). Dette gjøres med en kortvarig avfyring av rakettmotorene når romfartøyet når apogé (jordfjerne) i den elliptiske overføringsbanen. I hvilken retning må rakettdysene peke når rakett- motorene avfyres (husk å skille mellom retningen rakettdysene peker og retningen til hastigheten)?



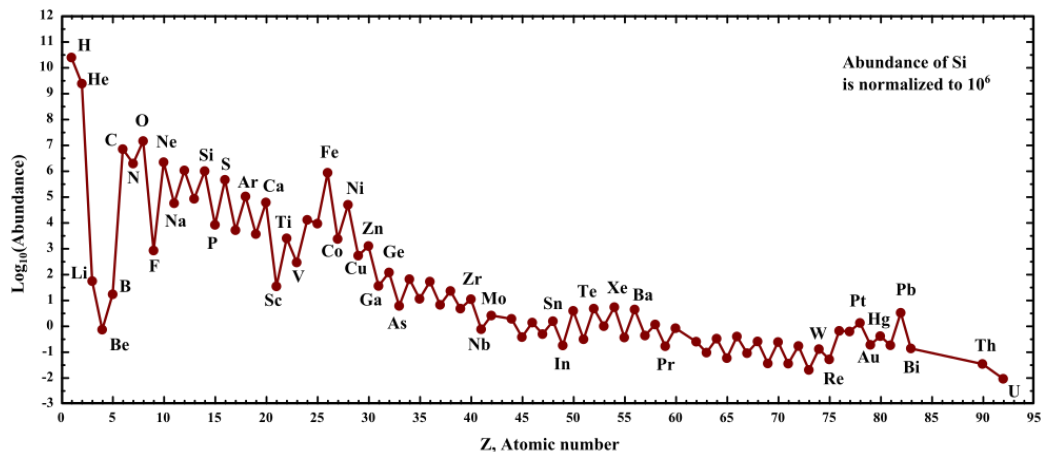
- a) Mot jorda (ned på bildet)
b) Vekk fra jorda (opp på bildet)
c) Samme retning som hastigheten (til venstre på bildet)
d) Motsatt retning av hastigheten (til høyre på bildet)
- 2) Ved middag i dag, 21. mars, festes en pinne i bakken et sted på jordkloden. Pinnen peker rett opp og kaster en skygge som er halvparten så lang som lengden til pinnen. På hvilket av de følgende stedene kan pinnen befinne seg?

- a) Miami
b) London
c) Tromsø
d) Roma

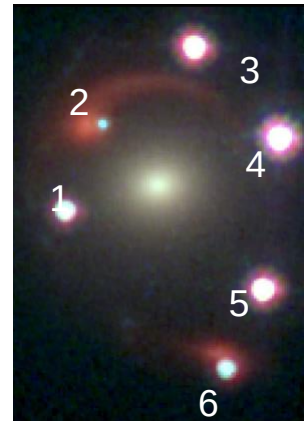


- 3) Som et resultat av økende politiske motsetninger bruker en gruppe veldig mye energi til å stoppe jorda i sin bane slik at den står helt stille i et kort tidsrom. Deretter stikker disse folkene av til en annen planet mens resten av jorda faller inn i sola. Hvor lang tid bruker jorda på å falle inn mot sola? Hint: Bruk Keplers lover. Du kan se bort fra solas utstrekning og bevegelse.
- a) Omtrent 45 dager
b) Omtrent 64 dager
c) Omtrent 91 dager
d) Omtrent 130 dager

- 4) Denne grafen viser at tyngre grunnstoffer er generelt sjeldnere i solsystemet enn lettere grunnstoffer. Jern (Fe) er imidlertid et unntak fra denne trenden. Hva kommer det av?



- a) Mennesker har økt produksjonen av metaller etter den industrielle revolusjonen.
- b) Jern blir produsert av kjernereaksjoner i sola og spredt utover av solvinden.
- c) Fordi jern er det tyngste grunnstoffet som blir produsert inni stjerner.
- d) En kollisjon mellom jorda og en annen planet tidlig i solsystemets historie produserte uvanlig store mengder jern.
- 5) James Webb - romteleskopet (JWST) tok dette bildet i november 2024. Dataanalyse av de seks sterke lyskildene viste at de har nøyaktig samme spektrum og samme lyskurve. Forskere tror derfor at lyset kommer fra samme kilde - en veldig lyssterk type galaksekjerne kalt en *kvasar*. Hvordan kan dette forklares?



- a) Det er egentlig ingen astrofysisk effekt men en fotografisk artefakt på grunn av den heksagonale formen til speilene og speilkonfigurasjonen til JWST. Dette gir en begrensning når man bruker JWST til å observere veldig fjerne objekter.
- b) Dette fenomenet skyldes en unik konfigurasjon av to massive objekter som avbøyer lys i en prosess som vi kaller "gravitasjonslensing".
- c) Det er ikke samme objekt - dette er nyfødte stjerner som sendes vekk fra kvasaren og har like egenskaper fordi de alle sammen er på et tidlig stadium i sin livssyklus. Dette gir en veldig god anledning til å undersøke stjerner i det tidligste stadiet av deres utvikling.
- d) Dette fenomenet skyldes den ekstremt raske banebevegelsen til kvasaren. Den utrolig raske bevegelsen gjør at kvasaren ser ut til å være flere forskjellige steder i løpet av eksponeringstiden til JWST.

6) Hvilken av disse energitetthetene (målt som gjennomsnittstetthet over et stort volum) endrer seg ikke når universet utvikler seg?

- a) strålingstetthet (f.eks. fotoner)
- b) tettheten av baryonisk ("vanlig") materie
- c) tettheten av mørk ("kollisjonsløs") materie
- d) mørk energi (som driver universets akselererende ekspansjon).

7) Stjerna S2 er en av stjernene som ligger nærmest det supermassive sorte hullet Sagittarius A* i sentrum av vår galakse. Tabellen nedenfor gir informasjon om banen til denne stjerna. Da S2 var nærmest Sagittarius A* i 2018 hadde stjerna en banehastighet på ca. 3% av lysfarten! Omtrent hvor nær var stjerna ved å havne inni det sorte hullet, uttrykt i enheter av Schwarzschild-radien?

Periode	Store halvakse	Eksentrisitet
16,05 år	970 AU	0,88466

- a) Omtrent 1,6 ganger Schwarzschild-radien til Sagittarius A*
- b) Omtrent 16 ganger Schwarzschild-radien til Sagittarius A*
- c) Omtrent 160 ganger Schwarzschild-radien til Sagittarius A*
- d) Omtrent 1600 ganger Schwarzschild-radien til Sagittarius A*

8) Interstellar gass og støv er atomer, molekyler og støvkorn som generelt blir mer eksitert av blått lys enn av rødt lys. Hvordan påvirker det hva som skjer når vi ser rett på en stjerne gjennom det interstellare medium?

- a) Stjerna ser rødere og lyssvakere ut enn den egentlig er
- b) Stjerna ser rødere og lyssterkere ut enn den egentlig er
- c) Stjerna ser blåere og lyssvakere ut enn den egentlig er
- d) Stjerna ser blåere og lyssterkere ut enn den egentlig er

9) Et teleskop med brennvidde 1,2 m er koblet til et kamera med en CCD sensor med 2048x2048 piksler, hvor hver piksel er $4,5 \mu\text{m} \times 4,5 \mu\text{m}$. Hva er synsfeltet til denne konfigurasjonen (husk at $1^\circ = 60' = 3600''$)?

- a) $7,41'$
- b) $26,4'$
- c) $33,2'$
- d) $60,5'$

10) Anta at du peker et teleskop mot himmelekvator (deklinasjon = 0°). Hvor fort (angitt i buesekunder per sekund ($''/s$)) beveger nattehimmelen seg ?

- a) 0,015 $''/s$
- b) 0,15 $''/s$
- c) 1,5 $''/s$
- d) 15 $''/s$

11) (I fortsettelsen av Spm.9 og Spm. 10). Vi setter dette på et stativ uten motor for å følge stjernehimmels bevegelse). Hva er den lengste eksponeringstiden vi kan benytte hvis stjernehimmelen ikke skal bevege seg mer enn to piksler i løpet av eksponeringstiden?

- a) 1 s
- b) 1/10 s
- c) 1/100 s
- d) 1/2000 s

12) Venus' bane har eksentrisitet 0,0068, og Venus' største vinkelavstand fra sola sett fra jorda er 46 grader. Hvor lang er store halvakse til Venus' bane?

- a) 1,04 AU
- b) 0,79 AU
- c) 0,72 AU
- d) 0,63 AU

13) Hvilken av følgende påstander om universets krumning er **feil** ?

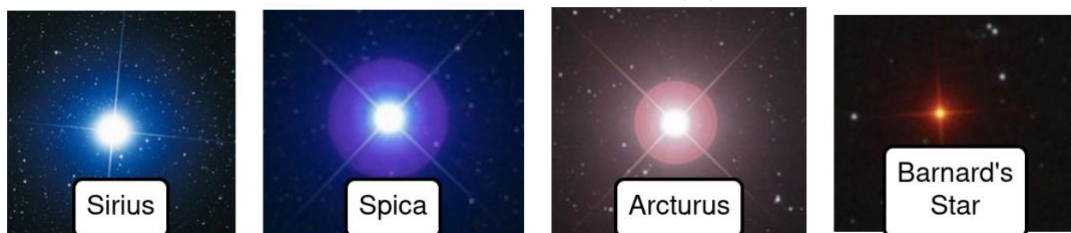
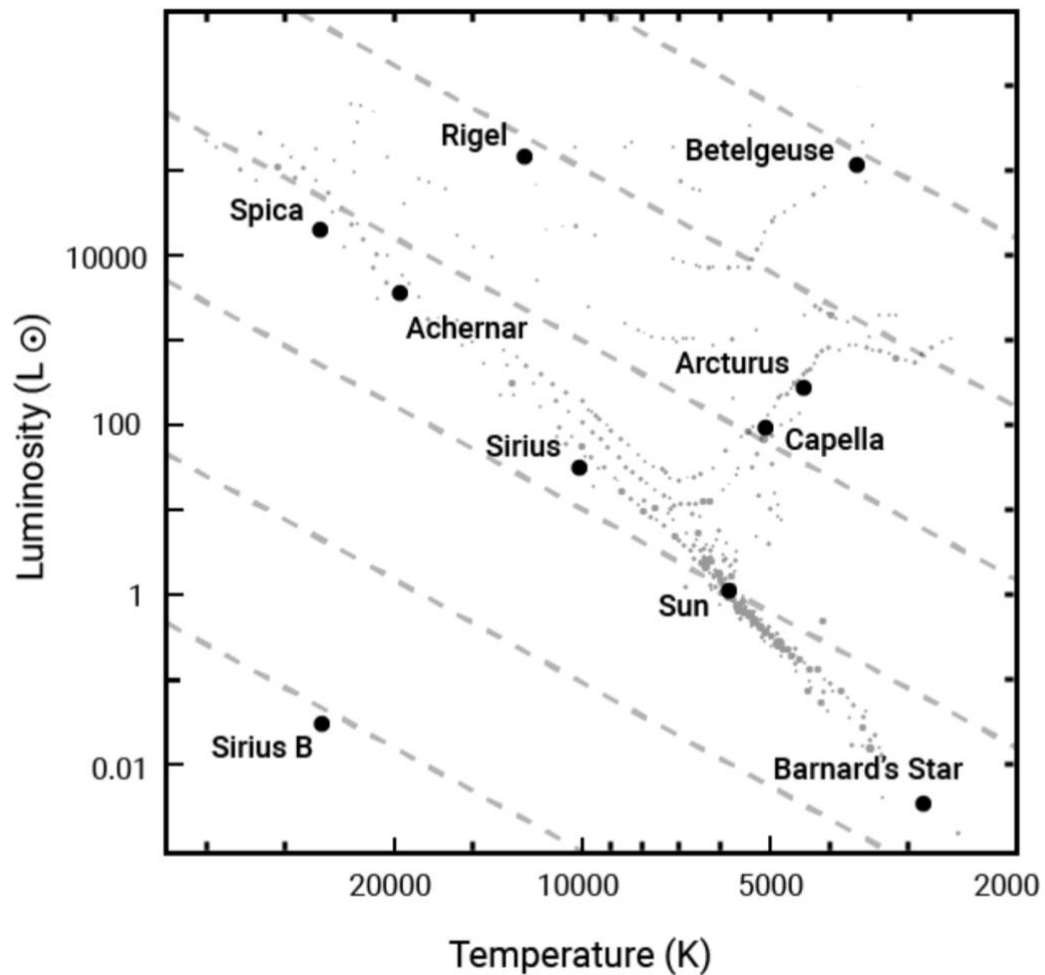
- a) Globalt sett er universet (tilnærmet) flatt.
- b) Masse og energi krummer lokalt tid og rom i nærheten.
- c) I motsetning til vanlig materie krummer ikke mørk materie tid og rom.
- d) Krummet tid og rom påvirker bevegelsen til massive partikler og fotoner.

14) Hvilken av disse kreftene eller prosessene **er ikke kjent** for å bidra til hydrostatisk likevekt (balanse mellom krefter som peker innover og utover) i noen typer stjerner?

- a) Gravitasjon
- b) Degenererte nøytroner som ikke kan være i samme kvantetilstand.
- c) Kjernefusjon

d) Kjernefisjon

- 15) I Hertzsprung-Russell diagrammet under markerer de grå stiplede diagonale linjene stjerner med samme radius, dvs. hver linje representerer en gitt radius. Rangér de fire stjernene under diagrammet etter størrelse, fra minst til størst!



- a) Barnards stjerne → Sirius → Spica → Arcturus
- b) Sirius → Barnards stjerne → Arcturus → Spica
- c) Spica → Arcturus → Barnards stjerne → Sirius
- d) Arcturus → Spica → Sirius → Barnards stjerne

16) Radialhastighetsmetoden er en måte å indirekte påvise eksistensen av eksoplaneter ved å observere den lille bevegelsen til vertsstjerna langs vår synslinje ved hjelp av Dopplereffekten. Bevegelsen skjer fordi både stjerna og planeten trekker på hverandre med gravitasjonskraften. Hvilken av de følgende planetene vil man helt sikkert ikke kunne påvise ved hjelp av denne metoden?

- a) Planet A, som går i bane så tett på stjerna at den ikke kan sees adskilt fra stjerna i et teleskop.
- b) Planet B, som har en bane som gjør at den kan passere rett mellom oss og stjerna.
- c) Planet C, som har et baneplan rundt stjerna som står vinkelrett på synslinjen vår.
- d) Planet D, som befinner seg utenfor den beboelige sonen omkring stjerna.

17) Hva er den totale luminositeten til en rød dvergstjerne som har overflatetemperatur 3500 K og halvparten av radien til sola? Oppgi svaret ditt i enheter av solas luminositet. Anta at overflatetemperaturen til sola er 5800 K.

- a) $0,0079 L_{\odot}$
- b) $0,033 L_{\odot}$
- c) $0,67 L_{\odot}$
- d) $1,4 L_{\odot}$

Del 2: Dataanalyse og åpne spørsmål

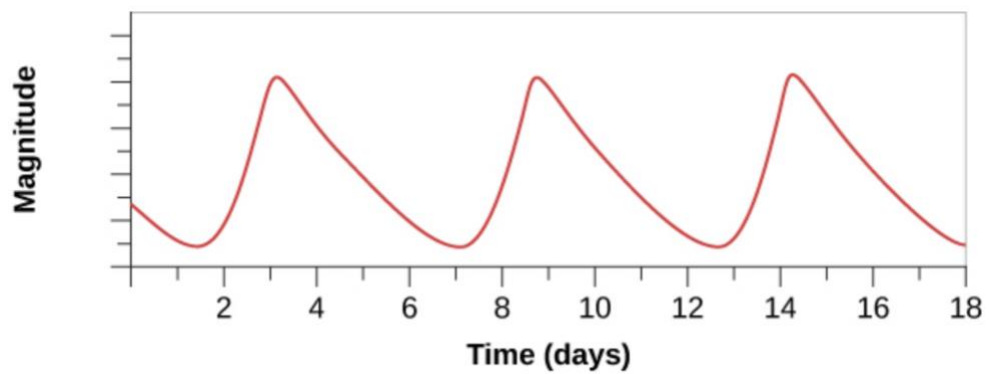
- 1) (5 poeng) Kefeidevariable stjerner er pulserende stjerner. Den absolutte størrelsesklassen M varierer i takt med pulseringene, hvor stjernene utvider seg og trekker seg sammen igjen i et regelmessig mønster med pulsasjonsperiode P . Data fra mange observasjoner har vist at det er en sammenheng mellom M og P som kan skrives på formen $M = A \cdot \log_{10}(P/døgn) + B$, hvor A og B er konstanter. Det innebærer at hvis vi kan observere pulsasjonsperioden vil vi kjenne den absolutte størrelsesklassen, og vi omtaler derfor denne typen stjerner som *standard lyskilder*, dvs. astronomiske objekter med en kjent luminositet. Dette gjør kefeidevariable stjerner spesielt godt egnet til avstandsbestemmelser!

- a) (3 poeng) Syv kefeidevariable stjerner har blitt observert med forskjellige pulsasjonsperioder. De har gjennomsnittlig absolutte størrelsesklasser og pulsasjonsperioder som angitt i tabellen under.

Stjerne	A	B	C	D	E	F	G
P/døgn	6,75	4,24	4,48	16,41	10,14	1,95	8,00
M	-3,64	-3,04	-3,09	-4,69	-4,10	-1,99	-3,80

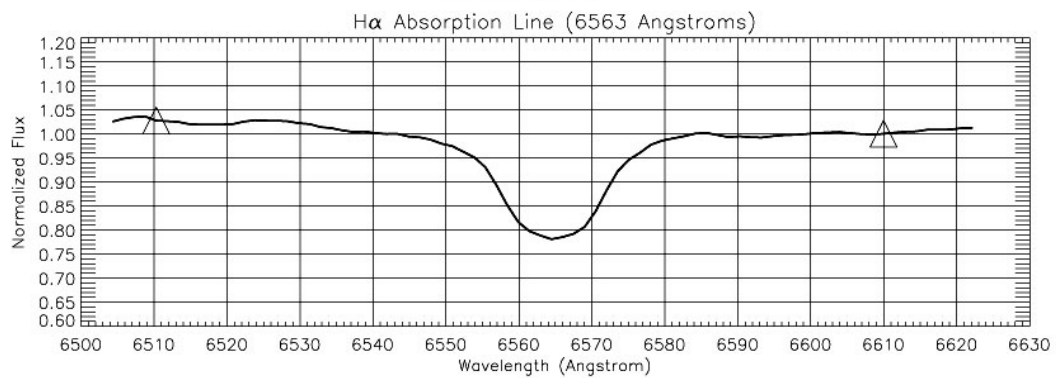
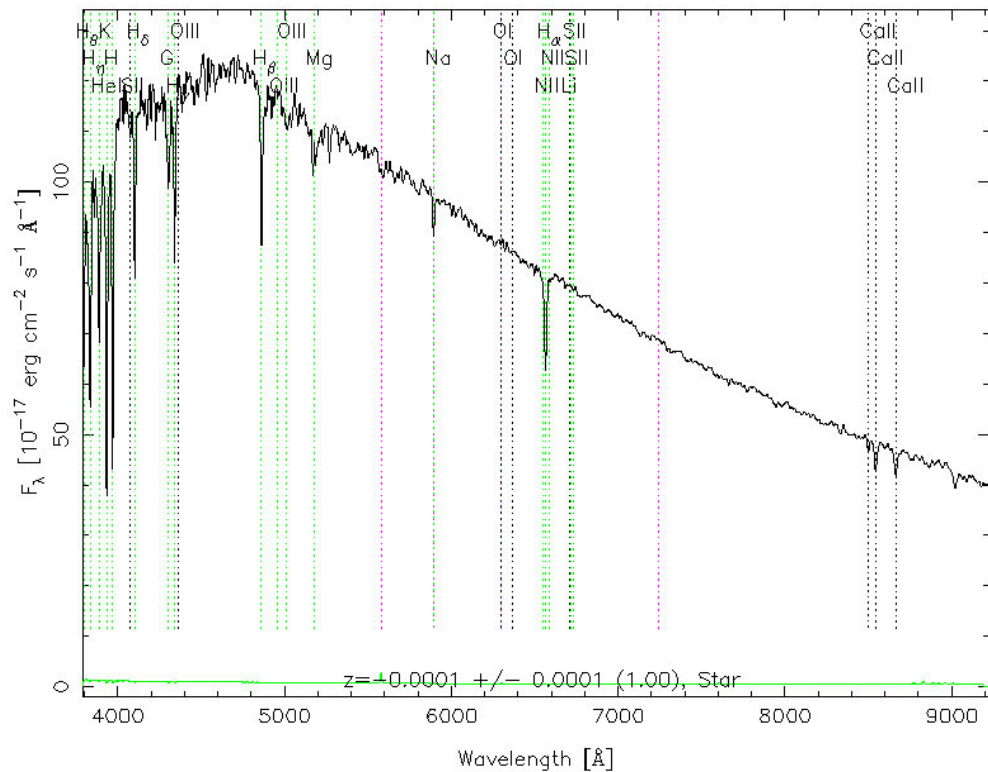
Bruk rutepapir for å plote datapunktene og tilpasse de til en relasjon som gitt ovenfor ved å tilpasse en rett linje i et (x,y)-diagram. Bestem koeffisientene A og B ut fra dette. Vis utregningene dine, skriv navn på aksene og bruk riktige enheter for å få full poengsum.

- b) (2 poeng) En annen kefeidestjerne observeres med *tilsynelatende størrelsesklasse* $m = 5.5$ (som altså er forskjellig fra dens *absolutte størrelsesklasse* M) og pulsasjonsmønsteret som er vist under. Hvor langt unna er denne stjernen (oppgi svaret i parsec)?



- 2) (3 poeng) Plottene under viser henholdsvis spekteret til en fjern stjerne og en del av det samme spekteret, zoomet inn ved hydrogen-alfa ($H-\alpha$) absorpsjonslinjen. Hydrogen-alfa linjen er ikke en tynn rett linje, men en fordeling med en gitt bredde. I dette tilfellet forårsakes den symmetriske *linjeforbredningen* av rotasjonsbevegelsen til stjerna. Vi observerer stjerna "fra siden" slik at rotasjonsaksen står normalt på synslinjen vår. For å bestemme linjebredden kan du ta utgangspunkt i punktene hvor

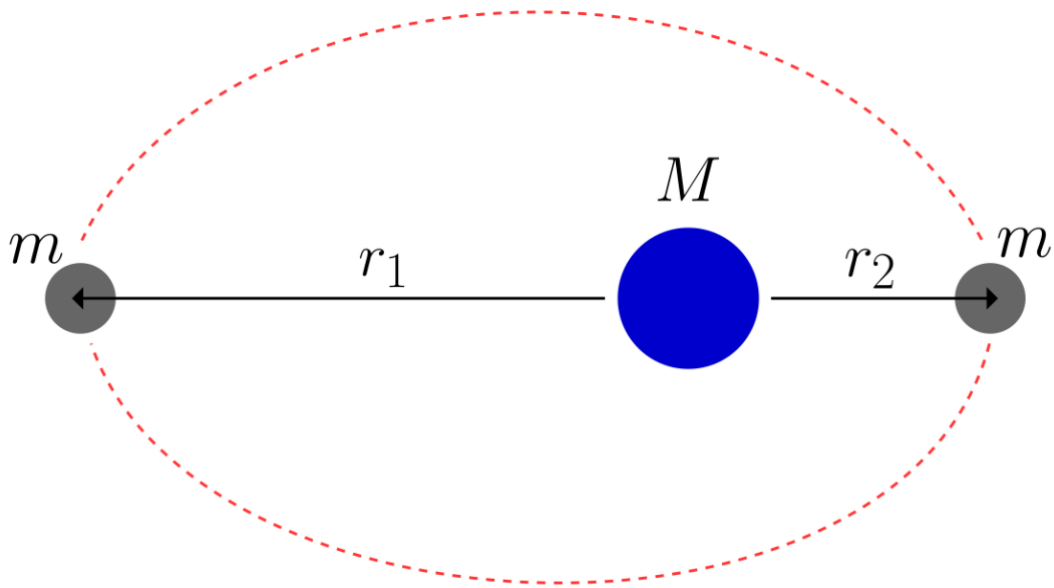
den målte fluksen ligger midt mellom minimum og maksimum.



- (1 poeng) Hva er den effektive temperaturen til stjerna?
- (2 poeng) Hva er rotasjonshastigheten på overflaten til stjerna (målt i km/s)?

- 3) (6 poeng) Et sort hull med masse M stråler ut energi fra hendelseshorisonten i form av *Hawkingstråling*. Denne strålingen har spektrum som et sort legeme med temperatur $T = \hbar c^3 / 8\pi G M k$, hvor $\hbar = h/2\pi$ er den reduserte Planck-konstanten, G er gravitasjonskonstanten og k er Boltzmannkonstanten. Det betyr at de samme fysiske lovene som gjelder andre sorte legemer (f.eks. stjerner) også gjelder her. Det betyr at til og med et sort hull, som “ingenting kan unnslippe fra”, kan lekke energi slik at det til slutt *fordamper*!
- a) (2 poeng) Vis at luminositeten som stråles ut av det sorte hullet kan skrives $L = L_{\odot} \cdot \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{-2}$, hvor $M_{\odot}$ er solmassen og $L_{\odot}$ er luminositeten strålt ut av et sort hull med masse lik solas. Hint: gjør utregningene ved hjelp av proporsjonaliteter som $T \propto M^{-1}$; du trenger ikke å uttrykke $L_{\odot}$ eksplisitt!
- b) (2 poeng) Anta at det sorte hullet stråler med konstant luminositet. Vis at levetiden til det sorte hullet (tiden det tar for det å fordampe) kan skrives som $t = t_{\odot} \cdot \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^3$, hvor $t_{\odot}$ er levetiden til et sort hull med samme masse som sola. **Gi også** $t_{\odot}$ uttrykt ved $L_{\odot}$, $M_{\odot}$ og fysiske konstanter.
- c) (2 poeng) Det er mulig å beregne at $t_{\odot} \approx 10^{67}$ år (du har alle tallene som trengs, men her oppgir vi bare dette tallet for å forenkle utregningen). I dag håper forskere å kunne påvise opprinnelige sorte hull fra Big Bang som eksploderer når de når slutten av fordampningsprosessen. Hvorfor er det en **maksimal masse** for opprinnelige sorte hull som fortsatt kan eksistere i dag? Hva er verdien til denne massen?
- 4) (3 poeng) En liten masse m går i bane rundt en mye større masse M med total energi E . Vi ser på de to punktene hvor massene er nærmest hverandre og lengst fra hverandre, r_1 og r_2 , og hastighetene til m i disse

to punktene.



- a) (0.5 poeng) Hvorfor er $r_1 v_1 = r_2 v_2$?
 - b) (0.5 poeng) Hvorfor er $E = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{GMm}{r_1} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{GMm}{r_2}$?
 - c) (2 poeng) Vis at $E = -\frac{GMm}{2a}$. Hint: start ved å eliminere hastighetene fra energiligningen.
- 5) (6 poeng) Stjernekartet viser nattehimmelen over Oslo klokken 00:00 norsk normaltid den 3. mars 2025. Du kan bruke planisfæren til å svare på denne oppgaven!
- a. (1 poeng) Bruk kartet til å bestemme omtrentlig asimut og høyde (altitude) for Orions belte på dette tidspunktet.
 - b. (0.5 poeng) Marker den nordlige himmelpolen med et kryss.
 - c. (1 poeng) Tegn en sirkel som angir området hvor sirkumpolare stjerner sett fra Oslo befinner seg på kartet.
 - d. (0.5 x 3 poeng) Oppgi navn til de tre lyssterkeste (i tilsynelatende størrelsesklasse) stjernene som er sirkumpolare fra Oslos breddegrad. Oppgi både egennavn (som f.eks. "Algol") og Bayer-designasjon (f.eks., "Beta Persei").
 - e. (1 poeng) Tegn og navngi en kurve som viser posisjonen til himmelekvator på dette kartet.
 - f. (1 point) Tegn og navngi en kurve som viser posisjonen til ekliptikken på dette kartet.

Studentnavn:

