Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

Faglig kontakt under eksamen:
Navn: Jan Myrheim
Telefon: 93653

Eksamen i fag TFY4325 og FY2450 Astrofysikk
Torsdag 2. juni 2005
Tid: 15.00–19.00

Sensurfrist: Torsdag 23. juni 2005

Tillatte hjelpemidler: Kalkulator, matematiske tabeller.

En tabell over fysiske konstanter finnes sist i dette oppgavesettet.
Alle deloppgaver teller likt ved sensuren.

Oppgave 1:

a) Hva er det som begrenser vinkeloppløsningen i et teleskop? Forklar kort hvorfor.

b) Hva er en hovedseriestjerne (engelsk: main sequence star)?
De fleste stjernene vi ser på himmelen er hovedseriestjerner. Hvorfor?
Er Sola en hovedseriestjerne?

c) Skisser kort «avstands-stigen», dvs. de ulike metodene for å måle avstander, som kan kalibreres mot hverandre og som gjør det mulig å måle avstander i universet, både til de nærmeste stjernene og til de fjerneste galaksene.

d) De første astronomene som studerte supernovaer, klassifiserte dem som type I og type II, etter hvordan spektret så ut.
Hva er den viktigste forskjellen mellom spektrene til supernovaer av type I og type II?
Etter hvert ble det klart at det fantes viktige forskjeller mellom supernovaer av type I innbyrdes, og derfor ble de underklassifisert som type Ia, Ib og Ic.
En supernova av type Ia er, i følge teorien, en hvit dvergstjerne som eksploderer, så voldsomt at det ikke blir noe annet igjen enn en ekspanderende sky av gass.
Hva er en hvit dvergstjerne, og hva er det som utløser eksplosjonen?
Hva er energikilden i en slik eksplosjon av en hvit dverg?

e) I en supernova av type Ib, Ic eller II er det kjernen i en utbrent massiv stjerne (med mer enn ca. 8 solmasser) som kollapser, og sluttresultatet er at det meste av massen til stjernen slynges ut i en eksplosjon.
Hva er den viktigste energikilden i en supernovaeksplosjon av denne typen?
Hvilken type supernovaeksplosjon, type Ia eller type II, er mest energirik?
Hvilken type lyser sterkest i synlig lys?
(Det er lov å gjette, hvis du ikke vet svarene!)

Oppgave 2:

Stjernen Mintaka, også kalt δ Orionis, er lengst til høyre av de tre stjernene i Orions belte. Den er faktisk et stjernesystem som består av fire enkeltstjerner, men to av de fire dominerer fullstendig, fordi de er blå kjempestjerner.
I denne oppgaven tar vi for oss de to kjempestjernene. De klassifiseres i nesten samme spektralklasse, nemlig O9 og B0, og det betyr at begge har en overflatetemperatur på omtrent 30 000 K. Hver av dem har en luminositet som er 70 000 ganger luminositeten til Sola. De går i bane rundt hverandre i en avstand av bare 0,2 AU (astronomiske enheter), med en periode på 5,73 døgn.

a) De to kjempestjernene må ha omtrent samme radius. Hvorfor?
Beregn radien (se formler side 3), og sammenlign med den oppgitte avstanden mellom stjernene.

b) Beregn den absolutte størrelsesklassen til hver av de to stjernene (for eksempel ved å sammenligne med Sola, se formler side 3).
Den observerte absolutte størrelsesklassen i synlig lys er $-4{,}3$ for hver av dem. Stemmer det med din beregning?

c) De to kjempestjernene i Mintaka utgjør et spektroskopisk dobbeltstjernesystem som samtidig er en formørkelsesvariabel.
Forklar hvordan Doppler-effekten gjør det mulig å observere at spektret består av lys fra to stjerner, og dessuten å måle avstanden mellom de to stjernene.

d) Beregn massen til hver av stjernene, under forutsetning at de har samme masse.
Vurder om svaret virker fornuftig.

e) Hva kommer til å skje med de to stjernene når de brenner ut? Begrunn svaret.
(Den som ikke har et svar, kan likevel forklare hvordan svaret burde begrunnes).

Oppgave 3:

a) Gravitasjonskraften mellom to masser er omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden mellom dem. Hvorfor er tidevannskraften, f.eks. fra Månen her på Jorda, omvendt proporsjonal med tredje potens av avstanden?

b) Figur 1 (side 4) viser flo og fjære i Trondheimsfjorden over en periode på ti uker.
I denne tiden var det fem ganger springflo (maksimal forskjell mellom flo og fjære) og fem ganger nippflo (minimal forskjell mellom flo og fjære).
Vi får springflo og nippflo fordi både Månen og Sola bidrar til å lage tidevann. Månen har størst virkning på tidevannet, det vet vi fordi tiden mellom to høyvann er 12 timer og 25 minutter.
Hvor lang tid ville det være mellom to høyvann dersom Sola hadde større virkning enn Månen?
Hvordan er månefasene ved springflo og ved nippflo?

c) Bruk figur 1 til å beregne massen til Månen, gitt at massen til Sola er $1{,}989 \times 10^{30}$ kg, og gitt avstandene (dvs. middelavstandene) til Månen, 384 000 km, og til Sola, $1{,}496 \times 10^{8}$ km.
Vurder usikkerheten i svaret ditt.

Noen fysiske konstanter og formler

Newtons gravitasjonskonstant:	$G = 6{,}673 \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}}$
Lyshastigheten i vakuum:	$c = 299\,792\,458\,\mathrm{m/s}$
Permeabiliteten i vakuum:	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}$
Permittiviteten i vakuum:	$\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2) = 8{,}854 \times 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$
Den reduserte Plancks konstant:	$\hbar = h/(2\pi) = 1{,}055 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$
Elementærladningen:	$e = 1{,}602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$
Finstrukturkonstanten:	$\alpha = e^2/(4\pi\epsilon_0\hbar c) = 1/137{,}036$
Boltzmanns konstant:	$k_B = 1{,}3807 \times 10^{-23}\ \mathrm{J/K}$
Stefan–Boltzmanns konstant:	$\sigma = 5{,}6704 \times 10^{-8}\ \mathrm{W/(m^2\ K^4)}$
Elektronmassen:	$m_\mathrm{e} = 9{,}109 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg} = 0,511\,\mathrm{MeV}/c^2$
Protonmassen:	$m_\mathrm{p} = 1{,}6726 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg} = 938,28\,\mathrm{MeV}/c^2$
Nøytronmassen:	$m_\mathrm{n} = 1{,}6749 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg} = 939,57\,\mathrm{MeV}/c^2$
Jordmassen:	$M_\oplus = 5{,}974 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$
Jordradien:	$R_\oplus = 6{,}378 \times 10^{3}\,\mathrm{km}$
Solmassen:	$M_\odot = 1{,}9891 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$
Solradien:	$R_\odot = 6{,}960 \times 10^{5}\,\mathrm{km}$
Avstanden til Sola (en astronomisk enhet):	$1\,\mathrm{AU} = 1{,}4960 \times 10^{8}\,\mathrm{km}$

Keplers tredje lov for masser m_1 og m_2 i en ellipsebane med store halvakse a og periode P:

$$P^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(m_1 + m_2)}\ .$$

Stefan–Boltzmanns lov (fluks F av svart stråling med temperatur T): $F = \sigma T^4$.

Relasjon mellom tilsynelatende størrelsesklasse (tilsynelatende magnitude) m og absolutt størrelsesklasse (absolutt magnitude) M for en stjerne i avstand d:

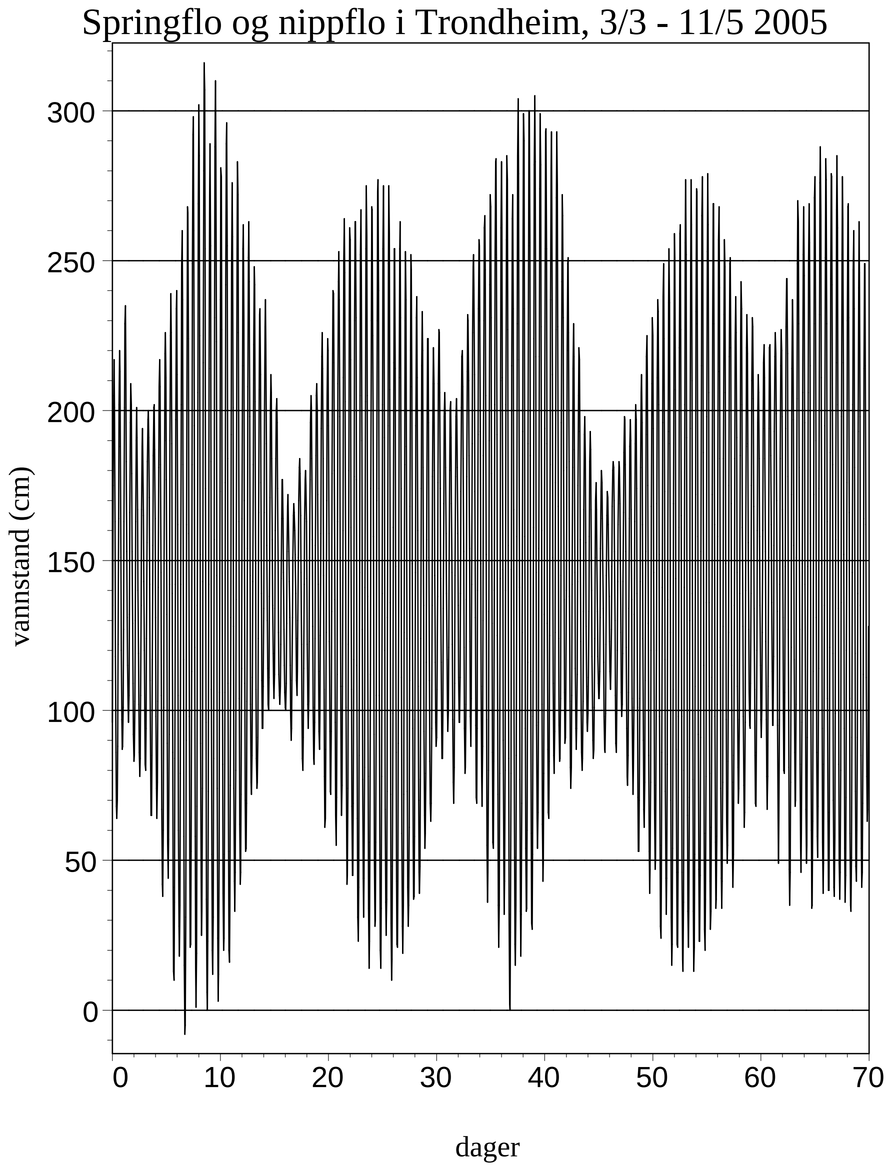
$$m - M = 5\ \log_{10}\left(\frac{d}{10\ \mathrm{parsec}}\right).$$

For to stjerner 1 og 2 gjelder følgende relasjoner:

$$\begin{aligned} m_2 - m_1 &= 2{,}5\ \log_{10}\left(\frac{b_1}{b_2}\right), \\ M_2 - M_1 &= 2{,}5\ \log_{10}\left(\frac{L_1}{L_2}\right). \end{aligned}$$

Der b er tilsynelatende lysstyrke (engelsk: brightness) og L er luminositet (absolutt lysstyrke).

Sola har absolutt størrelsesklasse $M = 4{,}8$ og luminositet $L = 3{,}86 \times 10^{26}$ W.



Figur 1: Vannstand i Trondheimsfjorden, målt hver time, fra 3. mars til 11. mai 2005. Nullnivået er omtrent det laveste lavvannet som forekommer. Data fra Statens kartverk.