

Dorthe Agerkvist og Mathias Egholm

OPGAVER TIL

Hans Kjeldsen og Torben Arentoft

DE DYNAMISKE STJERNER

Fysik i det 21. århundrede

FYSIKFORLAGET
2009

Kapitel 1

Opgave 1.1

- a) Rumfanget af en kugle er givet ved formlen $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$.
Beregn Jordens rumfang, V , idet Jordens radius er 6.366 km.
- b) Beregn Solens rumfang, idet solens radius er 109 gange større end Jordens.
- c) Hvor mange gange større end Jorden er Solen?

Opgave 1.2

Solen udsender en samlet effekt på $3,85 \cdot 10^{26}$ W.

- a) Før man fandt ud af, at der var noget, der hed fusionsprocesser, var Solens kæmpestore energiudladninger et mysterium. Forestil dig fx, at Solens energi kom fra afbrænding af benzin (brændværdien er 42,7 MJ/kg). Hvor mange tons benzin skulle Solen så afbrænde pr. sekund?
- b) Solen har en masse på ca. $2 \cdot 10^{30}$ kg. Hvor længe ville Solen kunne lyse, hvis den bestod af ren benzin?

Opgave 1.3

I dag ved vi, at Solens energi kommer fra fusionsprocesser. Hver gang atomkerner smelter sammen, afgiver de energi og mister en smule af deres masse. Ifølge Einsteins masse–energi–relation er sammenhængen mellem den forsvundne masse Δm og den opståede energi ΔE

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Størrelsen c er lysets hastighed og $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s.

- a) Hvor mange tons mister Solen af sin masse hvert sekund på grund af fusionsprocesserne (Solen udsender en samlet effekt på $3,85 \cdot 10^{26}$ W)?
- b) Hvor stor en del af sin samlede masse har Solens mistet i sin levetid på 4,7 milliarder år?

Kapitel 2

Opgave 2.1

Beregn ud fra Keplers love og oplysningerne side 9 i bogen Solens præcise hastighed rundt i banen om Mælkevejens centrum (afstand til Mælkevejens centrum kan sættes til $2,4 \cdot 10^{17}$ km).

Opgave 2.2

Beregn, hvor mange stjerner der i gennemsnit er på et kubik-lysår i Mælkevejen, der indeholder ca. 300 mia. stjerner. Her kan det antages, at Mælkevejen har form som en cylinderformet skive med dimensioner, der kan findes på

fc.nrsbgym.dk/~nj/Mlkevejen/mlkevejen.htm

Opgave 2.3

I starten af afsnit 2.1 antages det, at forholdene i en gassky er således, at den resulterende kraft ethvert sted inde i gasskyen er parallel med retningen til gasskyens centrum.

Kan du give en intuitiv forklaring på, hvorfor det er det samme som at antage, at skyen er kugleformet?

Opgave 2.4

På side 10 i bogen laves der tilnærmelsen $\Delta P = d \cdot P'(r)$. Argumentér for, at denne tilnærmelse er sand, når d er lille.

Opgave 2.5

Se side 11 øverst og skitsér situationen, hvor en lille kube af masse sidder på udkanten af en kugle. Prøv at tegne vektorer for tiltrækningen fra de forskellige dele af stoffet uden for kuglens påvirkning af den lille masse. Overvej hvorfor man siger, at tiltrækningen fra alt stoffet uden for kuglen ophæves.

Opgave 2.6

- a) Forklar fortegnet på F_{tyngde} i ligningen midt på side 11.
- b) Forklar også fortegnet for F_{tryk} i samme ligning.

Opgave 2.7

En interstellar sky i hydrostatisk ligevægt har en tæthed på $\rho = 2,0 \cdot 10^{-13} \text{ kg/m}^3$, massen $m = 1,24 \cdot 10^{36} \text{ kg}$ og $|P'(r)| = 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ Pa/m}$.

- a) Beregn skyens radius.

En del af skyen bliver nu forstyrret af en nærliggende supernova, og et område af skyen med radius $r = 3.500 \text{ AE}$ og masse $m = 17 \cdot M_{\odot}$ påbegynder sammentrækning.

- b) Beregn den tæthed, som dette område af skyen mindst skal være blevet presset sammen til af supernovaen, for at påbegynde en sammentrækning.

Opgave 2.8

Vi kommer på side 14 frem til ligningen for Jeans-kriteriet og finder heraf Jeans-massen og Jeans-radius.

- a) Opskriv, hvilke fysiske ingredienser der er blevet brugt for at komme frem til denne ligning (fx tyngdekraft, idealgaslov...).
- b) Opskriv alle de antagelser, der ligger til grund for Jeans-kriteriet – her skal antagelserne i afsnit 2.1 også med. Overvej, om antagelserne er korrekte/realistiske.

Opgave 2.9

Se side 14 og foretag omskrivningerne, der leder til formlen for Jeans-længden. Overvej om formen på forskriften stemmer overens med din fysiske intuition. Skriv dine overvejelser ned. Hvorfor gør den det, eller hvorfor gør den det ikke?

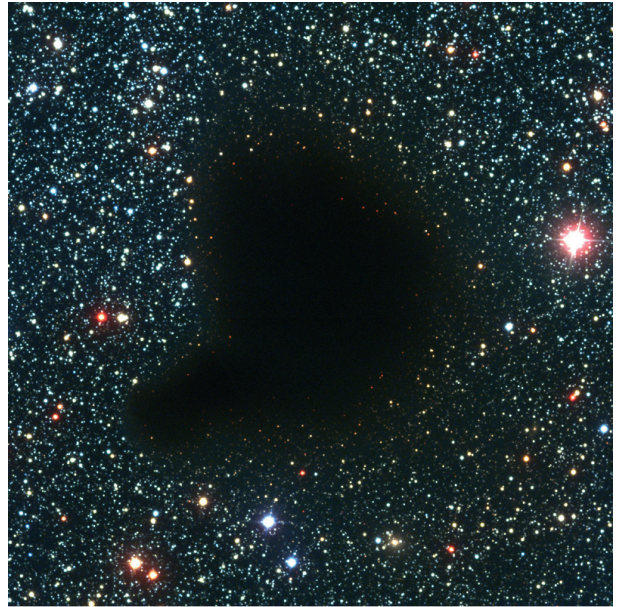
Opgave 2.10

Kom med en intuitiv forklaring på formlen for Jeans-massen. Hvorfor giver det mening, at den bliver større når T bliver større, og mindre når ρ bliver større?

Opgave 2.11

Gasskyen *Barnard 68* har en temperatur på $T = 50$ K og en radius på $R \sim 10^4$ AE og en middelmolekylemasse på $\langle m \rangle = 2,05$ u. Massen på skyen er ca. $2 \cdot M_{\odot}$.

- Antag at *Barnard 68* er kugleformet og beregn middeltætheden af skyen.
- Estimer ud fra formlen for Jeans-længden (se side 14 i bogen) om skyen er i gang med at producere stjerner.



ESO PR Photo 20a/99 (30 April 1999)
The "Black Cloud" B68
(VLT ANTU + FORS1)
© European Southern Observatory

Kilde: ESO

Opgave 2.12

Formlen for hastighedsfordelingen side 17 kan omskrives til

$$T = 3 \cdot k_B \cdot \langle v^2 \rangle \cdot \langle m \rangle$$

- Forklar kvalitativt, hvorfor T bliver større, når $\langle v^2 \rangle$ vokser.
- Forklar kvalitativt, hvorfor T bliver større, når $\langle m \rangle$ vokser.

Opgave 2.13

På side 17 fremkommer formlen $\frac{G \cdot m(r)}{r} = \frac{3 k_B \cdot T}{\langle m \rangle}$.

- Opskriv de store træk i, hvorledes denne formel er fremkommet.
- Opskriv alle de antagelser, som ligger til grund for denne sammenhæng.
- Diskutér om antagelserne er realistiske.

Opgave 2.14

På side 20 fremkommer formelen for den dynamiske tidsskala, $t = \sqrt{\frac{R^3}{G \cdot M}}$

- a) Beskriv kort hvordan denne formel er fremkommet.
- b) Opskriv de antagelser, som ligger til grund for formelen for den dynamiske tidsskala.
- c) Diskutér om antagelserne er realistiske.

Opgave 2.15

Udregn de præcise dynamiske tidsskalaer for:

- a) Solen
- b) en gassky med en radius på 100 lysår og en masse på $500 \cdot M_{\odot}$.

Opgave 2.16

- a) Se filmen med Matthew Bates simulering af stjernedannelse på www.astro.ex.ac.uk/people/mbate/Cluster/cluster3d.html
- b) Find i figurteksten side 21 de nødvendige data for at kunne udregne tidsskalaen for et gravitationelt kollaps og udregn den dynamiske tidsskala.
- c) Spol filmen frem til den udregnede tid og beskriv simuleringens udvikling frem til den beregnede dynamiske tidsskala.
- d) Skriv med egne ord, hvad den dynamiske tidsskala beskriver for en gassky.
- e) Hvor mange stjerner (de hvide prikker) bliver der ca. skabt i simuleringen?
- f) Antag at middelmassen for en stjerne er lig Solens masse. Hvor stor en procentdel af skyens oprindelige masse ender som stjerner?

Kapitel 3

Opgave 3.1

Beskriv med egne ord, hvad $P'(r)$ er.

Opgave 3.2

Formlen for Coulomb–energien er givet side 27 øverst. Sammenlign Coulomb–kraften og Coulomb–energien med formlerne for tyngdekraft og potentiel energi i tyngdefeltet fra din tidligere fysikundervisning. Beskriv ligheder og forskelle.

Opgave 3.3

Vacuum–permittiviteten er givet ved $\varepsilon_0 = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ C}/(\text{V}\cdot\text{m})$. Overvej om enhederne passer i formlen for Coulomb–energien.

Opgave 3.4

På side 27 findes formlen for den kinetiske energi i et plasma. Formlen er udledt ud fra betragtningerne omkring Maxwellfordelingen på side 18–19 i den blå boks.

- a) Argumentér for, at formlen for den gennemsnitlige kinetiske energi for en partikel i et plasma med temperaturen T er givet ved $E_{\text{kin}} = 3/2 k_B \cdot T$.
- b) Find gennemsnitsfarten for protonerne i et plasma med temperatur 15 millioner K.

Opgave 3.5

Vacuum-permittiviteten er givet ved $\varepsilon_0 = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ C}/(\text{V}\cdot\text{m})$.

- a) Beregn den energi, der skal til for at føre to protoner sammen til afstanden 10^{-15} m .
- b) Beregn den samlede kinetiske energi for to protoner i et plasma med en temperatur på 15 millioner K.
- c) Hvad er forholdet mellem Coulomb-energien og den kinetiske energi for de to protoner?
- d) Hvad er din konklusion?

Opgave 3.6

Fortsættelse af opgave 3.5, dvs. afstanden mellem to fusionerende protoner skal stadig være 10^{-15} m – Antag nu, at der kan foregå fusionsprocesser i en stjerne, hvis den gennemsnitlige kinetiske energi har størrelsesordenen $E_{\text{kin}} = \frac{1}{400} \cdot U$, hvor U er Coulomb-energien.

- a) Beregn, hvad temperaturen skal være i centrum af en stjerne, som har en kerne af helium (– ikke brint), før stjernen kan fusionere helium.
- b) Beskriv med ord, hvornår denne situation opstår i Universet. Kan du forklare, hvorfor Solen – når den begynder med heliumfusion – vil vokse i størrelse, til den når helt ud til Jordens bane?

Opgave 3.7

”Når fusionsprocesserne i kernen påbegynder efter en protostjernes sammentrækningsfase, vil temperaturen i kernen stige kraftigt pga. den kraftige energiudladning. Når temperaturen stiger vil den gennemsnitlige kinetiske energi af protonerne i kernen vokse, hvilket vil føre til flere fusionsprocesser, da der nu er flere protoner med energi nok til at nå sammen. Dette vil føre stjernen ind i en spiral, hvor den fusionerer hurtigere og hurtigere indtil al brinten i kernen er brugt op.”

Hvad er fejlen i ovenstående argumentation?

Opgave 3.8

Massen af en heliumkerne er 3,9715 gange massen af en brintkerne. Massen af en proton er $m_{\text{proton}} = 1,672\,621 \cdot 10^{-27}$ kg.

- Beregn massetabet og den tilhørende energi fra én pp-proces, der kort kan skrives $4\,{}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \text{energi}$.
- Fra Solens overflade udsendes energi med effekten $3,85 \cdot 10^{26}$ W. Beregn hvor mange fusionsprocesser, der skal foregå i kernen hvert sekund for at kompensere for dette energitab.
- Hvor mange kg brint forbrændes hvert sekund?
- Solen har brændstof til at leve i alt ca. 10 mia. år. Antag at Solen i hele sin levetid udsender energi med samme effekt. Beregn den samlede masse af den brint, som bliver lavet om til helium. Beregn herefter hvor mange procent af Solens samlede masse, som bliver brugt til fusion i løbet af hele Solens levetid. Solens masse er $M_{\odot} = 1,988 \cdot 10^{30}$ kg.

Opgave 3.9 – Svær!

Fortsættelse af opgave 8. – Efter at en stjerne har omdannet brint i kernen til helium, starter heliumforbrændingen, hvor 3 heliumkerner smelter sammen og danner kulstof-12.

- Slå kernemasserne op i et opslagsværk og find Q -værdien for reaktionen
$$3\,{}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$$
- Solen bliver, når den har opbrugt brinten i kernen, til en rød kæmpestjerne. Ved observationer af andre røde kæmpestjerner, regner man med, at Solen til den tid vil forøge sin udsendelse af energi med ca. en faktor 120. Beregn hvor mange fusionsprocesser der skal foregå pr. sekund for at opretholde denne energiudsendelse.
- I delspørgsmål b) i opgave 3.8 har du beregnet, hvor mange heliumkerner, der er blevet dannet pr. sekund i Solens indre i Solens levetid som almindelig stjerne. Beregn hvor mange heliumkerner, der er dannet i Solens indre i løbet af Solens levetid.
- Antag at alle heliumkernerne fra ovenstående opgave fusionerer til kulstof under kæmpestjernefasen. Hvor længe vil Solen lyse som en rød kæmpestjerne?
- I virkeligheden lever røde kæmpestjerner i størrelsesordenen 100 mio år. Hvad har vi ikke taget højde for i denne udregning?

Opgave 3.10

I bogen på side 35 er formelen for sammenhængen mellem en stjernes lysstyrke, overfladetemperatur og radius angivet som

$$L = \text{konstant} \cdot T^4 \cdot R^2$$

idet tegnet $\propto$ betyder *proportional med*.

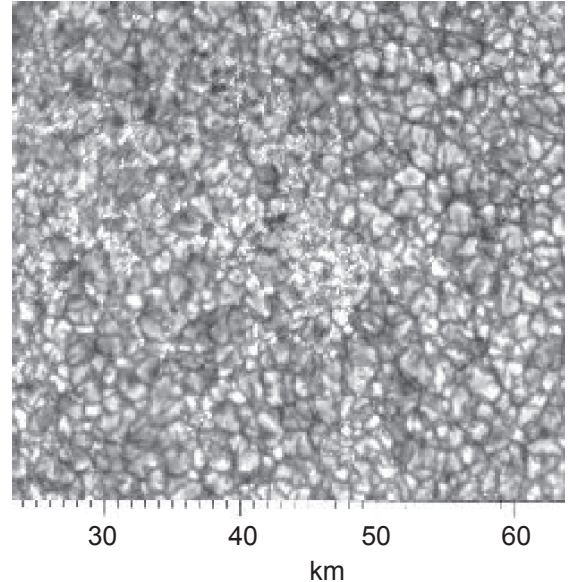
- a) Find konstanten for alle stjernerne i skemaet øverst side 35 i bogen.
- b) Overvej om konstanten er den samme for alle stjernerne i skemaet øverst side 35. Beregn procentvise afvigelser.

Kapitel 4

Opgave 4.1 – et demonstrationseksperiment

Demonstrationseksperiment til at demonstrere varme-transport ved konvektion. Eksempelvis kan man opvarme olie på en pande og se, hvordan der bliver dannet varmeceller (put fx jernstøv i olien).

Se filmen (link nedenfor):
Watch an MPEG movie of granules in action
og sammenlign med konvektionscellerne fra panden.



Kilde: cass.ucsd.edu/physics/ph7/Sun.html

Link til filmen:

spiff.rit.edu/classes/phys230/lectures/sun_gross/granules.mpeg

Opgave 4.2

På side 39 findes formlen for kraften, som strålingen påvirker omgivelserne med:

$$F_{\text{stråling}} \propto -\lambda \cdot T^3 \cdot T'(r)$$

Forklar med egne ord, hvorfor formlen ser ud som den gør.

Opgave 4.3

Under punkt 2 nederst side 41 står beskrevet, hvordan fusionsreaktionerne fører til, at trykket i centrum af stjernen falder. Argumentér for dette vha. idealgasligningen.

Opgave 4.4

- a) Studer graferne på side 43, og beskriv dem med ord.
Ved hvilken radius er hydrogenindholdet oppe på 0,70?
- b) Hvilke forhold kan gøre computermodeller af stjerner upræcise eller måske forkerte, og hvorfor?
- c) Hvilke undersøgelser laver man for at undersøge dette?

Kapitel 5

Opgave 5.1

- a) Hvorfor påbegynder stjernen en ny sammentrækning, når brintfusionen i det indre ophører?
- b) Forklar, hvordan man kan få et tryk, der ikke afhænger af temperaturen, ud fra Paulis udelukkelsesprincip.
- c) Hvad betyder det, at '*stoffet er degenereret*'?
- d) Hvad er en skalkilde, og hvorfor opstår denne?
- e) Forklar, hvordan en kæmpestjerne opstår.
- f) Hvad sker der med Solen, når brintfusionen i kernen ophører? Hvornår sker dette?
- g) Hvad er 3α -processen, og hvad skal der til, for at den kan forløbe?
- h) Hvis temperaturen fordobles, hvor meget stiger energiproduktionen ved 3α -processen så?
- i) Hvad er et heliumglimt? I hvilke stjerner vil et heliumglimt finde sted?
- j) Hvad sker der, når heliumfusionen i det indre ophører?
- k) Hvad er 3α -grundstoffer? Lav en liste over disse grundstoffer og undersøg deres forekomst på Jorden.
- l) Hvilke grundstoffer er de tungeste, der kan dannes ved kerneprocesser i stjernernes indre?
- m) Forklar dannelsen af en hvid dværgstjerne og en planetarisk tåge.
- n) Hvad sker der i stjerner med en masse større end ca. 8 gange Solens masse, når kerneprocesserne i centrum ophører?
- o) Forklar dannelsen af en neutronstjerne og en supernovaeksplosion.
- p) Forklar dannelsen af et sort hul.
- q) Ved hvilke processer kan der dannes nye grundstoffer ved en supernovaeksplosion?
- r) Hvilke typer af grundstoffer får man dannet ved henholdsvis s-processen og r-processen?

Opgave 5.2

Lav et diagram over stjerners liv – inddelt efter deres masse.

Opgave 5.3

En stjerne med 25 gange Solens masse ender med at opbygge et stort kerneområde bestående af Fe–56. Dannelsen af jern sker via fusion af silicium (kun start- og slutprodukterne er vist):



- a) Udregn Q-værdien for denne proces.

For en stjerne af denne størrelse sker opbygningen af jernkernen (Fe–56) i løbet af et enkelt døgn. Resultatet er, at et område i stjernens centrum med en masse på 1,4 gange Solens masse omdannes fra silicium til jern i løbet af dette døgn. Vi antager i denne opgave, at silicium består af 100 % Si–28.

- b) Antag, at massetabet ved siliciumfusion omdannes til energi, som udsendes som lys fra stjernens overflade. Hvad er stjernens luminositet, mens siliciumfusionen finder sted? Udregn dette i forhold til Solens luminositet.

Opgave 5.4

En neutronstjerne har en radius på omkring 10 km. I nogle få år efter dannelsen har den en meget høj overfladetemperatur.

- a) Hvad skal den effektive overfladetemperatur for en neutronstjerne med en radius på 10 km være, for at neutronstjernen har en luminositet som Solens?

Vi anvender et Planck–spektrum til at beskrive den spektrale fordeling af det udsendte lys fra neutronstjernen.

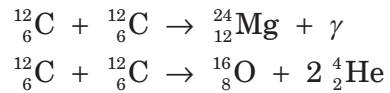
- b) Ved hvilken bølgelængde vil den ovenfor diskuterende neutronstjerne udsende mest energi pr. bølgelængde – altså hvor har $I(\lambda)$ maksimum ved denne temperatur?
- c) I hvilken del af det elektromagnetiske spektrum findes denne form for stråling?

Opgave 5.5

Antag at strålingen fra din krop følger Planck-fordelingen. Ved hvilken bølgelængde udsender du da mest energi? I hvilken del af det elektromagnetiske spektrum findes denne form for stråling?

Opgave 5.6

Beregn Q -værdien for følgende reaktioner:



Opgave 5.7

Udregn Q -værdien for 3α -processen. Hvor mange % af Q -værdien for pp -processen svarer dette til?

Kapitel 6

Opgave 6.1

- a) Hvilke informationer kan man få af et stjernespektrum?
- b) Hvilken type stråling udsender Solen mest af? Hvad udsender henholdsvis en varmere og en koldere stjerne?
- c) Hvorledes afhænger luminositeten af en stjerne af radius og af overfladetemperaturen?
- d) Hvordan er Wiens forskydningslov, og hvad betyder den sagt med ord?
- e) Hvorfor kommer der et absorptionsspektrum oveni det kontinuerede spektrum, Planck-kurven?
- f) Forklar linjeudbredning pga. Dopplereffekten. Hvad kan ellers give en linjeudbredning?
- g) Hvilke effekter bestemmer linjedybden af absorptionslinjerne?
- h) Hvorledes kan man bestemme om en stjerne er gammel eller yngre, fx set i forhold til Solen?
- i) Hvad er en exoplanet?
- j) Hvorledes kan man observere exoplaneter?
- k) Hvad håber man at få ud af den nye Kepler satellit?
- l) Forklar hvordan man kan bestemme massen af stjernerne i et dobbeltstjernesystem?
- m) Hvordan kan man udnytte massebestemmelsen i et dobbeltstjernesystem til at observere exoplaneter?
- n) Hvad er en pulserende stjerne, og hvilke informationer kan pulseringen give?
- o) Hvor længe har vi kendt til Solens svingninger? Hvad har de betydet for vores forståelse af Solen?
- p) Hvor mange % svinger Solens overflade typisk op og ned?

Opgave 6.2

- a) Helix-tågen er en planetarisk tåge, der er ca. 200 parsec fra Jorden. Den fylder ca. $0,22^\circ$ på himlen. Bestem diameteren af tågen.
- b) Antag at Helix-tågen har udvidet sig med en konstant hastighed på 30 km/s. Bestem tågens alder.

Opgave 6.3

Den hvide dværg kaldet *40 Eri B* har en effektiv overfladetemperatur på 16.900 K. Hvad er dens luminositet, hvis radius er 10.000 km?

Opgave 6.4

Stjernen Rigel i stjernebilledet Orion har en radius på ca. 78 gange Solens radius. Rigels luminositet er ca. 66.000 gange større end Solens. Hvad er Rigels overfladetemperatur?

Opgave 6.5

En af de klareste stjerner vi kan se fra Jorden er Betelgeuse i stjernebilledet Orion. Det er en super kæmpestjerne med en masse på ca. 20 gange Solens masse. Ifølge Databogen (10. udgave) er afstanden til Betelgeuse ca. 200 parsec, og den har en overfladetemperatur på 3300 K og en luminositet på 190.000 gange Solens luminositet.

- a) Bestem Betelgeuses radius. Hvilke planeter ville den opsluge, hvis man placerede den på Solens plads i Solsystemet?

Betelgeuse er en af de stjerner, der kan risikere at ende som en supernova. En supernova kan have en luminositet på op til 10^9 gange Solens luminositet.

- b) Hvis Betelgeuse får så høj en luminositet, hvor stor intensitet vil strålingen derfra så have her på Jorden? Hvor stor en stigning i intensitet svarer dette til?

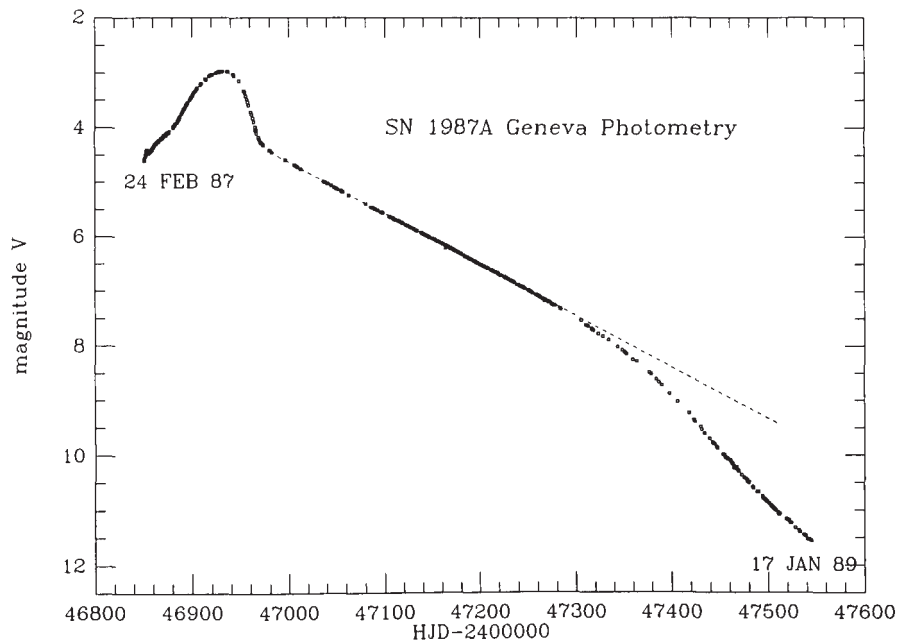
Nylige observationer af Betelgeuse viser, at den er blevet 15 % mindre siden 1993, se fx ing.dk/artikel/99480 for mere information.

Opgave 6.6

Vi betragter den supernova, der eksploderede i den Store Magellanske Sky i 1987. Ud over at være den nærmeste observerede supernova i flere hundrede år, er den speciel ved, at der foreligger udmærkede observationer af stjernen, inden den eksploderede. Den er derfor en glimrende mulighed for at teste modeller af supernovaers egenskaber. Inden eksplosionen var stjernen en blå superkæmpe. Dens effektive temperatur var $T = 16\,500\text{ K}$ og luminositeten var ca. $4,5 \cdot 10^{31}\text{ W}$.

a) Bestem stjernens radius inden eksplosionen.

På nedenstående graf ses lyskurven efter supernovaeksplosionen, x-aksen er angivet i dage på den såkaldte Julianske skala. På y-aksen er angivet lysterken målt i astronomiske størrelsesklasser V . Nederst på siden ses en tabel til omregning mellem V og luminositeten L .



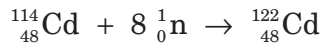
Figuren viser lyskurven for supernovaen de første to år efter eksplosionen. Den maksimale lysstyrke blev nået ca. 100 dage efter eksplosionstidspunktet. Efter maximum udviser lyskurven to dele, hvor lysstyrken varierer tilnærmelsesvis lineært med tiden.

b) Argumenter for at dette passer med, at energiproduktionen skyldes radioaktivt henfald af to kerner med forskellig henfaldstid. Vis ud fra grafen, at de to halveringstider er henholdsvis 77,1 døgn og 6,1 døgn, og giv forslag til, hvad de to stoffer kan være vha. Databogen.

V	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$L/L_{\odot}$	$6,1 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^8$	$9,7 \cdot 10^7$	$3,9 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$

Opgave 6.7

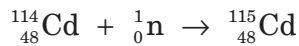
Et eksempel på en r-proces kan være



- a) ${}_{48}^{122}\text{Cd}$ henfalder ved to β^- -henfald til en stabil isotop. Opskriv de to henfald og bestem hvilken isotop, der er tale om.
- b) Denne isotop kan kun produceres ved en r-proces. Forklar hvorfor.

Opgave 6.8

Et eksempel på en s-proces er dannelsen af ${}^{116}\text{Sn}$ ud fra ${}^{114}\text{Cd}$. Processen starter med reaktionen



${}_{48}^{115}\text{Cd}$ vil da henfalde med et β^- -henfald, hvorefter der absorberes endnu en neutron efterfulgt af et β^- -henfald. Opskriv disse henfald.

Opgave 6.9

Den tungeste kerne, der kan dannes ved en s-proces er ${}^{209}\text{Bi}$. Forklar dette. (Vink: Opfanger en ${}^{209}\text{Bi}$ -kerne en neutron, vil den dannede ${}^{210}\text{Bi}$ henfalde to gange indtil den bliver en stabil kerne. Hvis denne stabile kerne laver yderligere neutronindfangninger og β^- -henfald vil processen køre i ring.)

1 Krabbetågens begyndelse

Stikord: Proportionalitet, supernovaeksplosioner.

På siden stjerner.fys.dk kan du finde billeder af Krabbetågen lavet de sidste ca. 50 år. Disse skal downloades og udskrives.

Idet Krabbetågen er en supernovarest, bevæger den mere eller mindre kugleformede tåge sig væk fra stjerneresten i centrum. Ved at se på denne bevægelses hastighed, er det muligt at bestemme udvidelsens begyndelsestidspunkt, og altså tidspunktet hvor supernovaen eksploderede.

1.1 Kort om supernovaer

Supernovaer er kæmpeeksplosioner, der sker, når stjerner tungere end 4 gange Solens masse har opbrugt deres brændstof. Supernovaeksplosioner er kort sagt tunge stjerners voldsomme død. I denne ekstreme eksplosion bliver de yderste lag af stjernen slynget væk fra stjernens overflade og ud i verdensrummet. I mange tilfælde vil dette danne en kugleformet sky af gas, som bevæger sig væk fra stjerneresten i centrum med høj hastighed. Krabbetågen er et eksempel på en sådan kugleformet supernovarest.

Under antagelse af, at udvidelseshastigheden har været konstant lige siden supernovaeksplosionen samt at supernovaresten er kugleformet, kan man finde tidspunktet for udvidelsens start og altså tidspunktet for supernovaeksplosionen. Dette gøres på følgende vis:

Afstanden d mellem to punkter på en kugleoverflade er givet ved:

$$d = \Phi_{\text{vinkelafstand}} \cdot r_{\text{kugleradius}}$$

Vinkelafstanden afhænger ikke af kuglens radius, og vil altså være det samme ligegyldigt hvor stor kuglen er. Idet kuglen antages at udvide sig med konstant hastighed må radius af kuglen være givet ved:

$$r_{\text{kugleradius}} = v_{\text{udvidelse}} \cdot t$$

Disse to ligninger giver os:

$$d = \Phi_{\text{vinkelafstand}} \cdot v_{\text{udvidelse}} \cdot t$$

Idet vinkelafstanden og udvidelseshastigheden er konstante, gælder der altså følgende sammenhæng mellem afstanden mellem to punkter på supernovaresten og tiden efter eksplosionen:

$$d = \text{konstant} \cdot t$$

Vi har altså, at afstanden mellem to punkter på supernovaresten stiger lineært med tiden siden ekspansionens start.

1.2 Denne øvelse

Denne øvelse går som sagt ud på at bestemme, hvornår supernovaen, der dannede Krabbetågen, eksploderede. Dette gøres ud fra billeder taget af Krabbetågen gennem de sidste ca. 50 år.

Følg følgende punkter:

- Udvælg to stjerner som ligger med stor afstand imellem sig og som er synlige på alle billederne. Udvælg også et antal strukturer i tågen (mindst 2), som er synlige på alle billederne og som har så stor afstand imellem sig som muligt. Resten af denne gennemgang forudsætter et valg på to strukturer.
- Mål afstande mellem de to stjerner samt mellem de valgte strukturer.
- Idet billederne er taget med forskellige instrumenter har billederne ikke samme skala. 1 cm på et billede svarer altså ikke til 1 cm på et andet billede. Derfor skal vi for hvert billede finde "*normeringsfaktoren*". Dette gøres ved at sætte afstanden mellem de to valgte stjerner til 100. Da stjernerne står fast og altså bør have præcis samme afstand imellem sig på alle billederne, kan vi finde ud af, hvilken faktor, vi skal gange vores billede med, for at få afstanden 100 mellem stjernerne. Normeringsfaktoren findes ved:

$$\text{Normeringsfaktor} = 100 / (\text{antal cm mellem de to stjerner}).$$

- I kan nu udregne afstanden mellem strukturerne ved at gange den målte afstand med normeringsfaktoren. I kan nu lave disse målinger for alle billederne og herefter lave et regneark som nedenstående:



Eksempel på udvælgelse af stjerner og strukturer. Her er de valgte stjerner markeret med en grøn cirkel og de valgte strukturer med en rød cirkel.

	A	B	C	D	E
1	Årstal	Dist(to stj)	Dist(struk 1 og 2)	Normeringsfaktor	Normeret afstand mellem strukturer
2		cm	cm		
3	1973	13	10	$100/13 = 7.7$	$10 * 7.7 = 77$
4	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

1.3 Opgaver

- Hvis teorien passer, burde et plot med normeret afstand mellem strukturerne som funktion af årstal give en ret linje.
Plot punkterne og kommentér resultatet.
- Få computeren eller lommeregneren til at finde den bedste rette linie igennem punkterne, og brug denne forskrift til at finde tidspunktet, hvor supernovaen eksploderede.
- Sammenlign resultatet med, hvad I kan finde på internettet.

2 Lyskurven for supernovaen SN1994 I

Stikord: Radioaktivt henfald, fotometri, eksponentielle funktioner, supernovaeksplosioner, billedbehandling.

Det er formålet med denne øvelse at bestemme lyskurven for en supernovaeksplosion, samt at finde årsagen til formen på denne lyskurve. Læs inden gennemgang af opgaven artiklen fra *Aktuel Astronomi* 1/2003, side 18–21, download fra stjerner.fys.dk.

2.1 Data og databehandlingsprogram

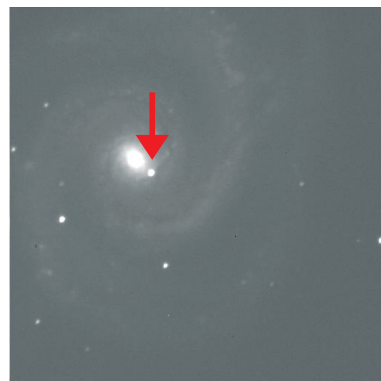
Billeder i fits-format af supernovaen M51 SN1994 I til databehandling kan findes på stjerner.fys.dk. Formatet "fits" er et særligt format, som man bruger til astronomisk data. Dette format gemmer for hver pixel antallet af tællinger i denne pixel. Billeder i dette format kan derfor bruges til intensitets- og lysmålinger (i modsætning til billeder i eksempelvis jpg-format). Et freeware-program *IRIS* til at vise og måle på fits-billeder kan hentes på:

www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm

2.2 Fremgangsmåde

1.2.1 Den observerede lyskurve

De 12 billeder hentes en efter en ind i *IRIS*. Strukturerne i billedet kan tydeliggøres ved brug af funktionen `view → threshold`. Supernovaen lokaliseres og der vælges 2 (mindst) forgrundsstjerner, der tjener som reference. Lysmængden fra disse to stjerner vil være konstant idet langt de fleste stjerner ikke ændrer lysstyrke på små tidsskalaer. Vi kan derfor fastlægge supernovaens varierende lysstyrke under hensyntagen til forskellige forhold under optagelserne ved at sammenligne supernovaens lyststyrke med stjernernes.



Et af billederne set med *IRIS*. Supernovaen er markeret med en pil.

Dette gøres på følgende måde:

I *IRIS* vælges *Analysis* og *Aperture Photometry*.

Derefter vælges to cirkler med radius på hhv. 8 og

12 pixels. Når cursoren nu føres hen og anbringes over et objekt fås summen af pixelindholdet inden for det cirkulære område fraregnet himmelbaggrunden, der måles mellem de to cirkler. Dette tal er et udtryk for objektets lysudsendelse.

Oplysninger om det optagne billede findes under *File → Image Info*. Dato for optagelsen, lysudsendelsen for supernovaen og de to baggrundsstjerner indføres i et regneark. Vælg den mest lysstærke af baggrundstjerne. For hvert billede divideres objekternes lysudsendelse med baggrundstjernens lysudsendelse, idet der samtidigt multipliceres med et pænt stort tal, fx

50.000. Undersøg om værdierne nu også er ens (nogenlunde) for den anden baggrundsstjerne. Hvis det er tilfældet, vil supernovaens lysudsendelse være renset for varierende optageforhold.

Datoerne omregnes til tider (i dage) idet tidspunktet for den første optagelse kan vælges frit (fx dag 1). Tegn derpå det observerede udsnit af supernovaens lyskurve med de fundne værdier som funktion af tiden.

1.2.2 At simulere en lyskurve

Ifølge artiklen i Aktuel Astronomi 1/2003, side 18-21, viser det sig, at hovedparten af supernovaens lys slet ikke stammer fra energifrigørelse ved selve eksplosionen. I stedet skaber eksplosionen store mængder af den radioaktive kerne ^{56}Ni . På det tidspunkt, hvor chockbølgen dør ud, er omtrent 40 % af hele stjernen omdannet til udelukkende at bestå af ^{56}Ni . Denne kerne henfalder til ^{56}Co med en halveringstid på 6,1 døgn. ^{56}Co er også radioaktiv. Den henfalder til ^{56}Fe med en halveringstid på 77,1 døgn.

Lav i excel en simulering af dobbelthenfaldet:

A	B	C	D	E	F	G
Antal dage	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	
efter	^{56}Ni	^{56}Ni	^{56}Co	^{56}Co	^{56}Fe	
eksplosion	kerner	henfald	kerner	henfald	kerner	
	6,1 døgn		77,1 døgn		Stabil	
	^{56}Ni		^{56}Co		^{56}Fe	SUM
0	1000000	113631	113631	1022	1022	114652
1	886369	100719	213328	1918	2939	102637
2	785651	89274	300684	2703	5643	91977
3	696377	79130	377111	3390	9033	82520

Start fx med 10^6 kerner af ^{56}Ni . Beregn det antal ^{56}Ni kerner, der henfalder i løbet af den valgte tidsenhed. Dette svarer til en tilvækst for ^{56}Co . Beregn det antal ^{56}Co kerner, der henfalder til ^{56}Fe , og beregn endelig den samlede aktivitet. Bemærk at der for ^{56}Co 's vedkommende både sker en tilvækst i antallet fra ^{56}Ni og et fald ved henfald til ^{56}Fe .

2.3 Opgaver

For simuleringen skal den samlede aktivitet plottes som funktion af tiden. Sammenlign simuleringen med supernovaens lyskurve. Gør dette ved først at finde det tidsrum i simuleringen, der minder om forløbet i supernovaens lyskurve. Klip dette område ud i et diagram, der passer til observationerne, og prøv at lave samme inddeling på begge akser. Skalering kan foregå dels ved at ændre udgangspunktet i simuleringen til en anden værdi end netop 10^6 kerner, eller baggrundsstjernens niveau kan ændres til en anden værdi end det valgte på fx 50.000.

Undersøg, om der er tale om et eksponentielt henfald i de to tilfælde og diskuter om supernovaens lysudsendelse kan forklares ud fra det omtalte dobbelthenfald.

3 Exoplaneter

I skal finde informationer om exoplaneter på adressen exoplanet.eu.

Vælg herunder *'Interactive catalog'* og gå ind i listen over alle exoplaneter (nr. 1). Her kan I finde en datatabel med de nyeste data og sortere dem, som I vil. Man kan også tegne diagrammer og kurver. I skal søge i tabellen og tegne grafer for at besvare følgende:

3.1 Opdagelse

- a) Hvornår er den nyeste update fra?
- b) Hvornår fandt man den første exoplanet?
- c) Hvornår kom der rigtig 'fart' i udforskningen?
- d) Hvilken metode har givet flest exoplaneter?
- e) Hvor mange har man i dag, og hvor mange er del af et planetsystem?

3.2 Massen

- a) Mellem hvilke grænser er masserne?
- b) Omregn, så det ses i forhold til Jordens masse.
- c) Hvilket område er der flest af?

3.3 Perioden

- a) Hvilke grænser er der for perioden?
- b) Hvilket område er der flest af?

3.4 Afstanden (den kaldes sem-maj axis)

- a) Angiv mindste og største afstand?
- b) Hvilket område er der flest af?

3.5 Histogram Fe/H

Tegn et histogram over, hvordan exoplaneterne fordeler sig alt efter stjernens indhold af jern i forhold til hydrogen (Fe/H). Dette bruges som et mål for stjernens indhold af metal (star metallicity). Findes exoplaneter typisk ved stjerner med højt eller lille metalindhold?

3.6 Afstand-masse graf

Tegn en graf (Correlation Diagrams) over sammenhængen mellem afstand og masse. Hvordan passer det med planeterne i Solsystemet?

3.7 Jordlignende planeter

Tegn en graf (Correlation Diagrams) over jordlignende exoplaneter – vælg selv nogle kriterier, så I får de mest jordlignende planeter frem.

3.8 Exoplaneter og liv

Hvordan ser det ud med chancerne for liv på de exoplaneter, man foreløbigt har fundet?

4 Stofudsendelse fra Solen og nordlys

4.1 Solvind

I det følgende skal vi se på Solens ydre atmosfære (den såkaldte solvind og korona). Solvinden opstår ved, at Solens atmosfære hele tiden udsender en strøm af tynd gas, som forlader Solen med stor hastighed. Solvinden har meget lav tæthed, og den består hovedsageligt af totalt ioniseret brint (protoner og elektroner). Da solvinden er ioniseret, vil partiklerne følge Solens magnetiske feltlinier. Når der sker udbrud på Solens overflade (flares), kan der forekomme store variationer i solvinden og dermed i magnetfeltet. Dette kan også mærkes i Jordens magnetfelt, og i disse situationer kan nordlys/sydlys forekomme. En forstyrrelse i solvinden i form af en flare vil kunne forårsage en forøget mulighed for nordlys og sydlys (Aurora). Holder man derfor øje med solvinden og sammenhængen mellem Jordens og solvindens magnetiske forhold, er det muligt at forudsige nordlysets position og aktivitetsniveau. På internettet findes mange hjemmesider med oplysninger om nord- og sydlysforholdene.

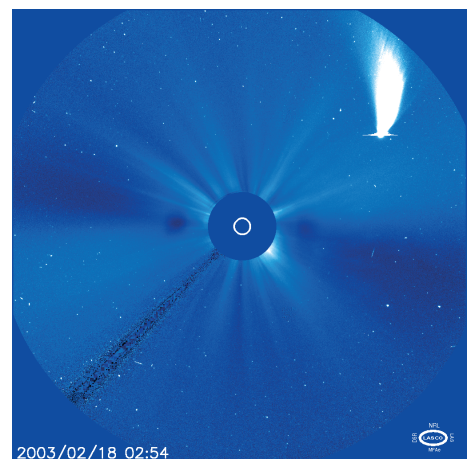
- Benyt disse sider til at undersøge det aktuelle niveau for nordlyset/sydlyset og forklar, hvordan solvinden påvirker nordlyset.

Astronomer har sendt en satellit kaldet *SOHO* ud imellem Jorden og Solen. *SOHO* observerer Solens korona 24 timer i døgnet og billederne fra *SOHO* bliver lagt på nettet umiddelbart efter, at de er taget. Data fra satellitten *SOHO* kan findes på hjemmesiden:

sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime

SOHO har installeret tolv instrumenter som observerer Solen i hvert sit bølgelængdeområde. Til undersøgelse af Solens korona er instrumentet *LASCO C3* bedst egnet. *LASCO C3* laver billeder som nedenstående. Den hvide cirkel i centrum af billedet repræsenterer Solens overflade.

- På hjemmesiden kan man downloade film over Solens korona i den seneste tid. Gør dette og find en udbrudsbølge, som I vil arbejde med.
- Lav en tabel, hvor I opskriver afstanden fra centrum af Solen (Solen overflade er repræsenteret ved den hvide cirkel i centrum af billedet) og tidspunktet for observationen. I skal lave så mange målinger som muligt, indtil bølgen er ude af synsfeltet.



- Omregn tidspunkterne til dage efter den første observation, og omregn afstandene fra Solens centrum til kilometer, idet det oplyses at den inderste hvide cirkel har en radius på $6,96 \cdot 10^5$ km (Solens radius).

Hvis ikke der i den aktuelle video er et passende soludbrud at følge, kan I vælge et af de mange eksempler der er på *SOHO LASCO* hjemmesiden eller bruge følgende 4 billeder:

astro.phys.au.dk/SOLEN/opgave/las07.gif

astro.phys.au.dk/SOLEN/opgave/las08.gif

astro.phys.au.dk/SOLEN/opgave/las09.gif

astro.phys.au.dk/SOLEN/opgave/las10.gif

I skal ud fra jeres data beregne

- Solvindens hastighed væk fra Solen.
- Den tid solvinden bruger på at nå fra Solen til Jorden, og heri et estimat for, hvornår solvinden vil ramme Jorden (hvis der bruges arkiv-data, skal I udregne, hvornår solvinden ramte Jorden).
- Har I i svaret på ovenstående forudsagt næste gang, der kommer meget nordlys?