

# Astroquiz Nytår 2008

1.

Uden Solens udstråling af lys var liv på Jorden utænkeligt. Fotosyntesen drives af sollyset; og solenergien styrer Jordens klima og derved også vejrprocesserne.

Uden sollys ville atmosfæren fryse til is og dermed var det slut.

Hvordan danner Solen den energi, der er så livgivende for Jorden?

Det var længe en gåde. Man havde følgende teorier i 1800- og i starten af 1900-tallet:

Solen var en varm gaskugle, der langsomt kølede af.

Solen fik energi ved at trække sig sammen (kontraktion).

Energien kom fra radioaktiv nedbrydning i Solens center.

I 1920 foreslog Sir Arthur Stanley Eddington, England, (1882-1944), at energien kunne komme fra kernefusion af brintkerner til heliumkerner.

I 30'erne blev der udarbejdet et teoretisk grundlag for denne hypotese af:

Subrahmanyam Chandrasekhar, Indien, (1910-1995) og Hans Albrecht Bethe, Tyskland, (1906-2005):

Solen er en varm gaskugle, hvor tyngdekraften modvirkes af gastykket og strålingstrykket. Det kaldes termodynamisk ligevægt, når de balancerer ud mod hinanden.

Det er dog ikke helt rigtigt, da der er en udadrettet flux gennem lagene.

Når temperaturen når over 10 millioner K starter fusionsprocesserne.

Temperaturen skal netop være så høj for, at den stærke kernekraft kan overvinde Coulomb-frastødningen mellem de positive protoner.

Ved den høje temperatur findes kun atomkerner (brintkerner) og elementarpartikler; denne suppe kaldes plasma.

For temperaturer mellem 10-15 millioner K er den såkaldte PP-proces (proton-proton proces) dominerende. Ved temperaturer over 16 millioner K dominerer den såkaldte CNO-proces (typisk for stjerner noget tungere end Solen).

I Solens tilfælde bidrager CNO-processen med 1,7 % af energien frembragt ved PP-processen.

Her følger reaktionerne:

Trin 1:  $2 \text{ protoner} > 1 \text{ deuterium-2} + 1 \text{ positron} + \text{energi (1 neutrino)}$

Trin 2:  $1 \text{ deuterium-2} + 1 \text{ proton} > 1 \text{ helium-3} + \text{energi (foton)}$

Trin 3:  $2 \text{ helium-3} > 1 \text{ helium-4} + 2 \text{ protoner}$

Trin 1 og trin 2 skal forløbe to gange, før trin 3 kan ske.

Trin 1 er den langsomste af de 3 trin. Den kan siges at være hastighedsbegrænsende for fusionsprocesserne. Den er så tilpas langsom, at vores Sol kan skinne i ca. 10 milliarder år, hvilket er meget heldigt for os. Et hurtigere trin 1 havde givet en meget kortere levetid for Solen og dermed var der ikke tid til, at livet kunne nå at etableres på Jorden.

De 2 positroner annihilerer med 2 elektroner og danner energi (4 fotoner).

Nettoresultatet er:  $4 \text{ protoner} > 1 \text{ helium-4} + \text{energi (2 neutrinoer)} + \text{energi (6 fotoner)}$ .

Energien føres nu væk af neutrinoer og fotoner, som skabes ved dannelsen af heliumkernen.

Energien stammer fra, at heliumkernen vejer 0,71 % mindre end de fire protoner.

Ifølge Einsteins berømte formel  $E=m \cdot c^2$  er masse lig energi og omvendt, hvilket betyder, at ovennævnte trinprocesser skaber  $26,73 \text{ MeV} = 42,8 \cdot 10^{13}$  Joule.

1 kg hydrogen kan regnes ud til at kunne frigive:  $6,4 \cdot 10^{14}$  Joule.

Da Solen producerer  $3,9 \cdot 10^{26}$  Joule per sekund omdannes der hvert sekund:  $3,9 \cdot 10^{26} / (6,4 \cdot 10^{14})$  kg hydrogen = 610 millioner tons hydrogen, som bliver til 606 millioner tons helium + 4 millioner overskydende tons fra fusionen, som straks omdannes til energi ifølge Einsteins formel og bæres væk af neutrinoer og fotoner.

**Spørgsmål:**

Hvor mange % af den ovennævnte energiproduktion får fotonerne lov til at tage med sig?

A: 10 %

B: 25 %

C: 50 %

D: 90 %

2.

Som vi så i forrige spørgsmål fordeles fusionsenergien til fotoner og neutrinoer. Neutrinoerne har den letteste vej. De bruger ca. 2 sekunder til at komme til overfladen af Solen; derefter strømmer de ud i verdensrummet. De har lyshastighed hele vejen, fordi de stort set er masseløse. De nyeste undersøgelser viser, at de måske har en masse svarende til 30 eV.

Fotonernes vej er langt mere besværlig. De starter som gammafotoner (dvs. har energi som gammastråling; typisk nogle MeV per partikel).

Konstant støder de ind i brintkerner, heliumkerner, neutroner og elektroner og bliver herved absorberet og emitteret i en uendelighed. En gammafoton bliver herved efterhånden til ca. 200000 fotoner med et energiindhold, som svarer til UV-lys, synligt lys, infrarødt lys og radiostråling, når de når toppen af fotosfæren.

De starter i Solens centrum, hvor fusionsprocesserne foregår. Kernen strækker sig 0,25 af Solens radius målt fra centrum. I centrum er temperaturen 15,7 millioner K. Ved kanten af centrum er temperaturen faldet til 10 millioner K (dette er den laveste temperatur for fusionsprocesser). Energitransporten i centrum sker ved stråling. Derefter følger strålingszonen, som når helt til 0,85 af Solens radius målt fra centrum. Også her dominerer stråling, som den dominerende transportform af energi. Her foregår altså ikke transport af masse.

Over strålingszonen følger konvektionszonen, som ender med fotosfæren.

Her transporteres den lette og varme plasma opad i lange cylinderformede celler (såkaldte granuler). Toppen af cellerne kan ses som den grynede overflade af fotosfæren og kaldes granulation. Deres varme indhold bliver nu afleveret og den nu koldere plasma synker ned igen.

Så konvektionszonen kan betragtes som et elevatorområde, hvor varm plasma kommer op og koldere plasma synker ned.

At det forholder sig sådan med energitransporten for Solen: dvs. at først følger strålingszonen og til sidst konvektionszonen kommer af følgende betingelse:

Temperaturgradienterne (en temperaturforskel over en bestemt afstand) i strålingszonen skal være mindre end temperaturgradienterne i konvektionszonen; i så fald er der termodynamisk ligevægt og gradienten for stråling gælder. I modsat fald optræder konvektion og gradienten for konvektion gælder.

I øvrigt forholder det sig lige modsat vedrørende massive stjerner (over 10 solmasser).

Astrofysikerne opererer med et begreb, som de kalder opacitet, som skal forstås som stjernens gennemskinnelighed for stråling. Når opaciteten er lav dominerer strålingen som energitransportform og når den er høj dominerer konvektionen som energitransportform.

Dette skyldes, at i konvektionszonen begynder atomkerner og elektroner at slutte sig sammen og opaciteten bliver høj, hvilket så medfører konvektion. Opaciteten er for øvrigt proportional med temperaturgradienten for stråling og er i realiteten den der bestemmer energitransportformen i stjerner.

Disse forhold vedrørende stjerners energitransport og deres opbygning er først blevet klarlagt ved computerens fremkomst. Mange teorier har måtte revideres efter at disse computerberegninger er blevet foretaget.

Solen kan betragtes som værende i termisk ligevægt: Energien der bliver produceret i centrum er lig den energi, der udstråles til verdensrummet.

Hvor stor en del af Solens udstråling falder i området for synligt lys ?

- A: 20%
- B: 40 %
- C: 60 %
- D: 80 %

3.

Det følgende vedrører stjerner med masser mindre end 2,5 gange solmasser. Stjerner over denne grænse oplever ikke et heliumflash p.g.a. massetæthederne i deres indre er meget mindre end de tilsvarende i de solignende stjerner. Derved gælder tilstandsligningen:  $pV=nRT$ , hvor trykket ( $p$ ) afhænger af temperaturen ( $T$ ). Så de massive stjerners overgang til heliumbrænding forløber mere fredeligt.

I Solens indre foregår fusion af hydrogen til helium. Temperaturen er her omkring 15,7 millioner K.

Minimum-temperatur for at fusionere hydrogen til helium er omkring 10 millioner K.

Når Solen om ca. 5 milliarder år er ved at løbe tør for brændstof (hydrogen) i centeret, sker der voldsomme ændringer.

Som sagt ophører fusionsprocessen gradvist, (hydrogen omdannes til helium). Herved nedsættes energiproduktionen og centrum bliver køligere, hvilket betyder, at trykket falder. Derved får gravitationen overtaget og der sker en kontrahering af centrum, hvorved temperatur og trykket stiger. Temperatur og tryk stiger endda meget voldsomt, hvorved også massetætheden (massefylden) stiger kraftigt. Det har følgende store konsekvenser:

Elektroner og heliumkerner bliver trykket kraftigt sammen.

Hermed gælder tilstandsligningen for ideale gasser (plasma) ikke længere, idet elektronhastighederne i den nye tilstand ikke følger Maxwell-Boltzmann hastighedsfordeling. Fordelingen er opkaldt efter fysikerne James Clerk Maxwell, Skotland, (1831-1879) og Ludwig Eduard Boltzmann, Østrig, (1844-1906), som opdagede denne i 1866.

At fordelingen ikke længere følges, skyldes Paulis udelukkelsesprincip fra kvantemekanikken, formuleret i 1925 af fysikeren Wolfgang Pauli, Østrig, (1900-1958), som bestemmer, at to elektroner (tilhører fermionerne) ikke kan have de samme 4 kvantetal, hvilket har den betydning, at elektronerne tvinges til at have større impulser  $p=mv$  (produktet af elektronernes masser og deres hastigheder).

Deres kinetiske energier er dog langt fra at være relativistiske, som de kan være i en hvid dværg. Elektronerne siges nu, at være i en ikke-relativistisk degenereret tilstand, hvorved tilstandsligningen for en degenereret gas skal anvendes.

Ifølge denne ligning afhænger trykket nu ikke længere af temperaturen, men af massetætheden (i  $5/3$  potens).

Det har kolossale virkninger: Når energiproduktionen stiger som følge af den nye fusionsproces, hvor helium fusioneres til kulstof, ja så stiger temperaturen, men ikke trykket (det er uændret); dvs. kernen udvider sig ikke. Når temperaturen fortsætter med at stige, så stiger også energiproduktionen og derved stiger temperaturen igen osv. Energiproduktionen løber nu helt løbsk. Dette kaldes et heliumflash. Varigheden af et sådant flash er typisk nogle få sekunder.

Til sidst bliver temperaturen så høj, så degenerationen af elektronerne ophører.

Den enorme varmeudvikling bliver nu langsomt absorberet af stjernens kappe.

Det er ikke muligt, at se heliumflashet udefra. Der er ingen eksplosion at se.

Til gengæld vil stjernen i nogle få sekunder øge sin neutrinoindsendelse med 10 %.

Derefter stabiliseres energiproduktionen (fusionen af helium til kulstof).

Denne produktion vil for Solens vedkommende vare omkring 30 millioner år.

Samtidigt med, at centrum trækker sig sammen p.g.a. svigtende energiproduktion (Solen løber tør for hydrogen) udvider den sine ydre lag, der herved afkøles. Solen vokser nu voldsomt i størrelse og er på vej til at blive en rød kæmpestjerne.

Hvilken minimum-temperatur kræves der for, at fusion af helium til kulstof kan gå i gang?

- A: 50 millioner K
- B: 100 millioner K
- C: 500 millioner K
- D: 1000 millioner K (1 milliard K)

4.

Når protonerne i Solens indre skal fusionere med hinanden må afstanden mellem dem højst være  $10^{-13}$  cm; ellers kan den stærke kernekraft (som indfanger dem) ikke holde fast på dem.

1 proton har diameteren  $1,6 \cdot 10^{-13}$  cm. Målet er altså en cirkel med diameteren:  $(1,0+1,6+1,0) \cdot 10^{-13}$  cm =  $3,6 \cdot 10^{-13}$  cm; dvs. radius er  $1,8 \cdot 10^{-13}$  cm.

Det giver et tværsnitsareal på  $\pi \cdot 1,8 \cdot 10^{-13} \cdot 1,8 \cdot 10^{-13}$  cm<sup>2</sup> =  $10^{-25}$  cm<sup>2</sup>.

I gamle dage havde kernefysikerne en betegnelse for tværsnitsarealet af en urankerne. Det kaldte de 1 barn. Symbolet er b.

I vore dage har højenergi-partikelfysikerne taget betegnelsen til sig.

Ordet er engelsk(amerikansk) og betyder en ladeport og hentyder til kernefysikernes beskydning af en urankerne med neutroner. Urankernen blev betegnet som ladeporten.

”Det er lige så let, som at ramme en ladeport” lyder et almindeligt dansk udtryk.

Det er selvfølgelig morsomt, at fysikerne valgte ordet ladeport for noget, der er så svært at ramme (og på dansk har den modsatte mening).

Man har også forkortelserne:

**mb=millibarn**  
**u(my)b=microbarn**  
**nb=nanobarn**  
**pb=picobarn**  
**fb=femtobarn**

**Arealerne står i faldende orden (altså mindre og mindre areal).**

**Endvidere anvendes tit betegnelsen:  $(h \cdot c/2\pi)^2/GeV^2=0,3894 \text{ mb}$**

**I stedet for at spørge om, hvor stor er 1 barn, lyder spørgsmålet:  
Hvor stor er den målskive, som protonen skal ramme i Solens indre for at fremkalde fusion (udtrykt i barn)?**

- A: 0,1 b**
- B: 1 b**
- C: 10 b**
- D: 100 b**

**5.**

**Stjerner udsender lys i alle bølgelængder. De danner det, der kaldes et kontinuert spektrum.**

**Plancks lov fra 1900 (opkaldt efter Max Karl Ernst Ludwig Planck, Tyskland, 1858-1947) viser udseendet af det kontinuerte spektrum for isoterme legemer.**

**Planck-kurven viser hvorledes strålingens intensitet, afhænger af bølgelængden for en bestemt temperatur.**

**Selv om Solen ikke er et isotermt legeme, kan Planck-kurverne for et legeme med Solens temperatur alligevel godt vise strålingsforholdene i Solens atmosfære.**

**Solens overflade (fotosfæren) har en temperatur på omkring T grader K.**

**Planck-kurven for denne temperatur viser, at Solen udsender en stor del af sin stråling i det synlige område og toppe i det gule område.**

**Stjerner med mindre temperatur end Solen udsender mindre stråling(energi) og intensitetstoppen flytter mod større bølgelængde end gult (og lavere frekvens)**

**Stjerner med større temperatur end Solen udsender mere stråling(energi) og intensitetstoppen flytter mod lavere bølgelængde end gult (og højere frekvens).**

**Stefans lov fra 1879 (opkaldt efter Joseph Stefan, Slovenien, (1835-1893) viser effekten af strålingen fra et isotermt legeme pr. kvadratmeter (altså der måles i Watt/m<sup>2</sup>).**

**Denne størrelse kaldes også fluxen. Stjerner kan ikke betragtes som isoterme legemer, da temperaturen vokser ned igennem deres atmosfærer. Fluxen fra en stjernes kan dermed ikke angives ved en Planck-funktion. Ikke desto mindre gælder loven nogenlunde rimeligt for en stjerneatmosfære. Temperaturen T kaldes så i stedet for den effektive temperatur for atmosfæren og er en slags middeltemperatur for stjerneatmosfæren.**

**Loven ser sådan ud:  $F=q \cdot T(4)$ ; dvs. fluxen er proportional med den effektive temperatur i fjerde potens.**

**q er Stefan-Boltzmanns konstant= $5,67 \cdot 10(-8) \text{ Watt/m}^2 \cdot \text{K}(4)$ .**

**Hvis man kender en stjernes strålingseffekt L og dens radius R defineres en stjernes flux som  $F: L/4 \cdot \pi \cdot R(2)$ .**

L måles i Watt.

Vi vil nu finde den effektive temperatur T for Solens atmosfære (fotosfæren) ved hjælp af et matematisk udtryk.

L for Solen:  $3,90 \cdot 10^{26}$  Watt. R for Solen:  $6,96 \cdot 10^8$  meter  
F findes af formlen ovenfor.

Temperaturen T for Solens overflade  $= (F/q)^{1/4}$ ; dvs. den fjerde rod af forholdet F/q

T bliver? (Resultatet bliver i Kelvin-grader; når man trækker 273 fra disse, bliver det Celsius-grader).

A: 5598 K (5325 °C)

B: 5698 K (5425 °C)

C: 5798 K (5525 °C)

D: 5898 K (5625 °C)

6.

Og nu en rigtig fysiklæreropgave:

I solens centrum er temperaturen ca. 15,7 millioner K.

På overfladen (fotosfæren) er den faldet til under 6000 K.

Til at drive den enorme varme fra centrum og ud gennem Solen og slutte på overfladen med en temperatur under 6000 K, kræves der nogle uhyre store temperaturgradienter.

For at illustrere dette brugte den russiske fysiker George Anthony Gamow, (1904-1968) følgende eksempel i sin bog fra 1968: En stjerne kaldet Solen:

”For at kunne forestille sig, hvad en så enorm temperatur betyder, er det tilstrækkeligt at sige, at hvis kunne holde temperaturen af et knappenålshoved på 15 millioner grader, ville varmeudstrålingen brænde alt op i en radius på flere kilometer”.

I dette spørgsmål vil vi forsøge at finde temperaturen i 2 kilometers afstand fra det meget varme knappenålshoved (kaldet kh i det følgende).

Vi ser bort fra atmosfærens indflydelse. Det ville komplicere spørgsmålet temmelig meget.

Vi bruger to formler fra spørgsmål 5:

Stefans lov:  $F = q \cdot T^4$

Fluxen F:  $L/4 \cdot \pi \cdot R^2$

q er Stefan-Boltzmanns konstant  $= 5,67 \cdot 10^{-8}$  Watt/m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>

T er temperaturen af kh:  $15 \cdot 10^6$  K

Fluxen F for kh findes til:  $2,87 \cdot 10^{21}$  Watt/m<sup>2</sup>

Radius for kh sættes til 1,0 mm  $= 1,0 \cdot 10^{-3}$  m

Vi har endvidere:  $F(2\text{km})/F(\text{kh}) = R(\text{kh})^2/R(2\text{km})^2$

Fluxen F(2km) i afstanden 2 km fra kh bliver:  $7,18 \times 10^8$  Watt/m<sup>2</sup>

Nu er op til læseren, at finde temperaturen 2 km fra knappenålshovedet ved at bruge Stefans lov.

Det er ikke helt korrekt, at bruge loven i dette tilfælde, fordi kuglen med en radius på 2 km ikke er isoterm; men resultatet gælder nogenlunde rimeligt.

Læg mærke til, at resultatet af formlen er i Kelvin-grader; når man fratrækker 273 fra disse, får man Celsius-grader. Resultatet er rundet en smule, så det ender på et helt antal hundrede.

T bliver:

A: 10600 K (10300 °C)

B: 7600 K (7300 °C)

C: 4600 K (4300 °C)

D: 1600 K (1300 °C)

7.

Mælkevejsgalaksen er den galakse, som Solsystemet tilhører. Vi kalder den også blot galaksen eller mælkevejen. Den sidste betegnelse kalder vi også det lysende bånd af stjerner, som strækker sig over nattehimmelen.

Grækerne mente, at båndet lignede spildt mælk. I den græske mytologi er det gudinden Hera, der spilder det. Mælk på græsk hedder gala, i genitiv galaktos. Heraf navnet galakse, som er en stor samling af stjerner, gas og støv (også kaldt ø-universer) fastholdt af deres tyngdekrafter.

Antallet af galakser i verdensrummet er meget stort: et forsigtigt gæt: 200 milliarder.

Vor nærmeste galakse er Andromeda-galaksen, som befinder sig 2,54 millioner lysår fra os.

Mælkevejs-galaksen er ifølge nyeste undersøgelser af typen: SBb, hvilket betyder, at den er en bjælkespiralgalakse med nogenlunde normalt åbne spiralarme.

Ved bjælkespiralgalakse menes, at dens spiralarme udgår fra enderne af en bjælke, som går gennem galaksens kerne.

Eksempel på en anden galakse af typen SBb: Messier 91 i stjernebilledet Coma Berenices.

SBb betyder:

S: Spiralgalaxy (spiralgalakse)

B: Barrel (bjælke)

a,b,c: underafdelinger, som angiver hvor åbne spiralarmene er:

a: meget lukkede arme

b: normal åbne arme

c: meget åbne arme

Galaksen (mælkevejen) er omkring 100000 lysår i diameter og rummer med et forsigtigt gæt: omkring 100 milliarder stjerner.

Solsystemet befinder sig i den galaktiske plan omkring 26000 lysår fra centeret på indersiden (dvs. den side der vender ind mod centeret) af en af spiralarmene.

Når vi ser på mælkevejen, ser vi galaksen fra kanten. Ser vi i retning af stjernebilledet Sagittarius (Skytten), ser vi ind mod galaksens centrum og den centrale udbulning. Ser vi væk fra galaksens centrum og udad, ser vi i retning af stjernebilledet Auriga (Kusken).

Galaksens arme er opkaldt efter de stjernebilleder, man ser, når man kigger på de pågældende arme.

Solsystemet ligger i en disse arme. Hvad hedder den ?

- A: Perseus-armen
- B: Sagittarius-armen
- C: Orion-armen
- D: Cygnus-armen

8.

Du er astronaut og befinder dig på vulkanmånen Io, den inderste af Jupiters fire store måner.

Bortset fra det omgivende vulkanlandskab er det synet af Jupiter, der fanger dit blik. Det er en imponerende udsigt, man har til Jupiter, men det er et dødeligt sted at opholde sig ret længe p.g.a. den meget kraftige radioaktive stråling fra moderplaneten.

Afstanden mellem Jupiter og Io er 421600 km (centrum til centrum).

Diameter af Jupiter: 142984 km (målt ved ækvator).

Diameter af Io: 3629 km.

Hvilket betyder, at afstanden fra Io's overflade til Jupiter(centrum) bliver: 419785 km.

Vi har nu:  $\tan(H/2) = 71492/419785 = 0,1703$

Læg mærke til, at tangens tages til vinklen (H/2) også kaldet parallaksen. Den vinkel H vi søger, er så det dobbelte af parallaksen.

Hvor stor bliver udstrækningen H af Jupiter på Io's himmel ?

Til sammenligning: Solens (og Månens) udstrækning på himlen her på Jorden er omkring  $\frac{1}{2}$  grad.

- A: 11,3 grader
- B: 15,3 grader
- C: 19,3 grader
- D: 23,3 grader



9.

Du er astronaut og er landet på Saturns store måne Titan, som faktisk er Solsystemets næststørste måne; kun overgået af Jupiter-månen Ganymedes.

Hvis ellers det er skyfrit (og det er sjældent) og kigger på Solen, hvor stor er så dens tilsyneladende lysstyrke ?

$$m(\text{Titan}) = m(\text{Jorden}) - 5 \cdot \log(r(\text{Jorden})/r(\text{Titan}))$$

$m(\text{Titan})$  er Solens tilsyneladende lysstyrke set fra Titan.

$m(\text{Jorden})$  er Solens tilsyneladende lysstyrke set fra Jorden:  $-26,74$

$r(\text{Jorden})$  er afstanden fra Jorden til Solen (i AU):  $1,00$  AU

$r(\text{Titan})$  er afstanden (gennemsnitlig) fra Titan til Solen (i AU):  $9,58$  AU

$\log$  er titalslogaritmen.

1 AU: 1 astronomisk enhed = afstanden (gennemsnitlig) fra Solen til Jorden.

$$\text{Vi får: } m(\text{Titan}) = -26,74 - 5 \log(1,00/9,58) = -26,74 - 5 \log(0,1044)$$

Hvad bliver  $m(\text{Titan})$  ?

A:  $-6,8$

B:  $-11,8$

C:  $-16,8$

D:  $-21,8$

10.

En stjernes masse har overordentlig stor betydning for dens udvikling og alder.

Stjerner med en masse som Solen lever typisk omkring 10 milliarder år.

Hvis deres masse kun er det halve forøges levetiden til over 50 milliarder år.

Hvis deres masse er det dobbelte af Solens falder levetiden til under 2 milliarder år.

Denne tendens forstørres yderligere, hvis massen er mindre end det halve eller mere end det dobbelte.

Dette skyldes, at ved større masse stiger tryk og temperatur i stjernen og omvendt.

Derved øges (eller formindskes) det område i stjernen hvor fusionsprocesserne

foregår. Stjernens brændstof forbruges derved hurtigere (eller langsommere) og det tidspunkt hvor der skal til at fusioneres helium kommer meget hurtigere for tunge stjerner (og meget langsommere for lette stjerner).

Vi vil i dette spørgsmål se på hvilke grænser, der har betydning for en stjernes skæbne.

En meget vigtig grænse er Chandrasekhars grænsemasse:  $1,44 \cdot (2/u)^2 \cdot M(\text{Sol})$ , hvor  $M(\text{Sol})$  er Solens masse og  $u$  er den gennemsnitlige molekylvægt pr. partikel (enheden er atommasseenhed). Astrofysikerne kalder det molekylvægt af tradition, selv om der ikke er molekyler i plasmaen. Da  $u$  praktisk taget altid er meget tæt på 2 for hvide dværge, bliver grænsen:  $1,44M$ , (i det følgende kaldt CG).

Man skelner mellem lette og tunge stjerner ved en grænse omkring 8 solmasser.

Grænsen er ikke helt skarp; men det har meget store konsekvenser for stjernen om den tilhører den lette gruppe eller den tunge gruppe.

I det følgende betegner  $M$  Solens masse,  $E$  Jordens masse og  $J$  Jupiters masse.

Vi får nu følgende betegnelser:

$3E < \text{Gasgiganter} < 13J$

$13J < \text{Brune dværge med deuteriumfusion} < 65J$

$65J < \text{Brune dværge med deuterium- og lithiumfusion} < 75J=0,08M$

$0,08M < \text{Hovedseriestjerne med hydrogenfusion (uden heliumfusion)} < 0,4M$

$0,4M < \text{Hovedseriestjerner med hydrogen- og heliumfusion} < 8M$

Hovedseriestjerne ender som røde kæmpestjerner  $>$  planetarisk tåge + hvid dværg og til sidst som en sort dværg.

Man kan sige, at en hvid dværg er slutstadiet for alle stjerner  $< 8M$ . Hvis den hvide dværg tager på i vægt (får masse tilført fra en ledsagestjerne) og derved overskrider CG følger en supernovaeksplosion af type Ia.

Der bliver ikke efterladt nogen supernovarest efter denne type eksplosion.

De stjerner som har heliumfusion (og har masser  $< 2,5M$ ) gennemgår et heliumflash samtidigt med starten på heliumfusionen.

Hovedseriestjerner  $> 8M$  har mange fusioner, som slutter med en nikkel-jern kerne. Disse hovedseriestjerner udvikler sig til superkæmper, som resulterer i supernovaer af typen Ib, Ic og II, når nikkel-jernkernen bliver større end CG.

Stjerner med en masse større end  $120M$  findes i praksis ikke.

Efter supernova-eksplosionen kaldes supernova-resten en neutronstjerne.

Hvis dens masse er i følgende interval:  $1,18 < M < 3M$  forbliver den som neutronstjerne; hvis den er større end  $3M$  kollapser neutronstjernen og bliver til det, der kaldes et sort hul.

Der kan ikke dannes neutronstjerner med en masse  $< 1,18M$ .

Hvilken af de følgende stjerner gennemgår IKKE et heliumflash og bliver heller IKKE til en supernova? Masserne for stjernerne er ( $M$ ) er anført.

A: Toliman (Alfa Centauri A)	M: 1,1
B: Arcturus (Alfa Boötis)	M: 1,5
C: Solen	M: 1,0
D: Polarstjernen (Alfa Ursae Minoris)	M: 5,5

11.

Andromeda-galaksen (M31) er det fjerneste objekt mennesket kan se med det blotte øje.

Den befinder sig 2,54 millioner lysår fra Mælkevejen og er vores nærmeste galakse.

Ligesom Mælkevejen er den et stort komplekst system bestående af galakse, satellitgalakser, kugleformede stjernehobe og en kæmpe-halo af mørkt stof.

Dens tilsyneladende lysstyrke er 3,4 og fremtræder ret lille uden kikkert.

Vi ser kun den centrale lyse del med det blotte øje.

I virkeligheden er dens udstrækning på himlen (angular diameter) omkring 6 gange fuldmånens diameter; altså ca. 3 grader.

Andromeda-galaksen tilhører ligesom Mælkevejen: Den lokale Hob.

Lokalhoben er en galaksehob på over 30 medlemmer, hvoraf Mælkevejen og Andromeda-galaksen er de to største medlemmer. Alle hobens medlemmer holder sammen (gravitationen) og bevæger sig imellem hinanden på deres fælles rejse gennem verdensrummet.

Universets udvidelse spiller ingen rolle for deres afstande fra hinanden; dertil er hobens gravitationskræfter for stærk.

Andromeda-galaksen er en af de få galakser, som har blueshift, dvs. den nærmer sig Mælkevejen i modsætning til næsten alle andre galakser, som har redshift (rødforskydning), dvs. fjerner sig fra Mælkevejen.

Det kan måles temmelig præcist, at Andromeda-galaksen i øjeblikket nærmer sig med 301 km/s (radial-hastigheden).

Dens hastighed vinkelret på denne hastighed (tangential-hastigheden) kendes ikke særlig præcist, men er tæt på 0.

Vi skal i dette spørgsmål finde ud af, hvornår Andromeda-galaksen (kaldet A) og Mælkevejen (kaldet M) mødes (kolliderer).

Vi anvender Newtons gravitationslov:  $F=G(A \cdot M)/R(2)$

F er kraften imellem dem; A og M er galaksernes masser.

R er afstanden imellem dem.

G er gravitationskraften=  $6,67421 \cdot 10(-11) \text{ m}(3)/(\text{kg} \cdot \text{s}(2))$ ;

Vores store problem er at accelerationen ikke er konstant, men stigende. Derfor kan spørgsmålet næsten kun løses ved hjælp af numerisk analyse; det er desværre temmelig besværligt og temmelig uoverskueligt.

Der er følgende forudsætninger:

De to galakseres masser er inklusive dark matter (mørk masse).

A har tangentialhastighed: 0

A har en øjeblikkelig radialhastighed: – 301 km/s (altså mod os)

A har massen:  $2,51 \cdot 10(42) \text{ kg}$

M har massen:  $3,78 \cdot 10(42) \text{ kg}$

Øjeblikkelig afstand til A:  $24,03 \cdot 10(21) \text{ meter}$

Der regnes ikke relativistisk.

Universets udvideshastighed har ingen betydning.

Galaksernes masser regnes som om de virker fra centret af de to galakser (ellers vil udregningen kræve en supercomputer).

Forslag til løsning: Start med udgangsbetingelserne:

Find kraften F mellem galakserne. Find dernæst deres accelerationer. Vælg nu et tidsinterval; beregn galaksernes hastigheder og positioner og find derved deres afstand fra hinanden.

Og så er det forfra: Find kraften osv.

Find evt. mødetidspunktet, hvis hastigheden for A antages at være den samme hele vejen (hvad den ikke er, men det giver et fingerpeg om mødetidspunktet).

Hvor lang tid er der til, at galakserne mødes? (kolliderer med hinanden).

A: 1,1 milliarder år

B: 2,1 milliarder år

C: 3,1 milliarder år

D: 4,1 milliarder år

12.

Den 8. maj 1794 skilte guillotinen i Paris en af videnskabshistoriens bedste hoveder fra kroppen.

Han var uddannet jurist.

En pioner indenfor kemien, og med indsatser indenfor stort set alle videnskabens områder, – astronomi, geologi, palæontologi og biologi.

Hans måske største bedrift var at påvise massens konstans i kemiske reaktioner.

Han gjorde op med samtidens phlogiston-teori.

Denne teori gik ud på følgende: Nogle stoffer indeholder phlogiston og det gør, at de kan brænde. Ved forbrændingsprocessen forsvinder phlogiston ud i den omgivende luft. Det, der bliver tilbage efter forbrændingen, siges så at være blevet afphlogistiseret.

Ved visse forbrændinger skete der en vægtforøgelse af det brændende stof. Det kunne kun forklares ved, at phlogiston havde negativ vægt. Når stoffet så brændte og blev afphlogistiseret, steg vægten, fordi det negative bidrag forsvandt (fordampede).

Han viste, at den virkelige årsag til vægtforøgelsen var, at det brændende stof reagerede med luftens ilt (oxygen) og at ilt (oxygen) var identisk med det stof, som hans kemi-kolleger kaldte afphlogistiseret luft!

Endvidere, at det de samme kolleger kaldte phlogiston var identisk med brint (hydrogen).

Han påviste, at ånding og forbrænding er samme sag; at begge processer udvikler varme, og han identificerede grundstofferne ilt, som han lidt fejlagtigt kaldte oxygen, – syredanner, og brint som han ganske rigtigt kaldte hydrogen, – vanddanner. Derudover identificerede han nitrogen, fosfor, zink, kviksølv og svovl.

Han anstillede et forsøg, hvor han lod grønne planter vokse en periode i en omvendt glaskrukke, og han påviste derved, at den opsamlede gas var ilt!

Han deltog i indførelsen af meter- og kg-systemet i Frankrig.

Hans indsats var i væsentlig grad af teoretisk natur. Han kom under anklage for at tilegne sig og færdiggøre resultaterne af andre forskeres eksperimentelle arbejder, uden at meddele dem behørig kredit.

Det var dog ikke for sit videnskabelige arbejde, men i sin egenskab af velhaver og skatteopkræver i Paris, at han som 50-årig måtte bestige skafottet.

Var det?:

A: Pierre-Simon Laplace

B: Jean-Étienne Guettard

C: Antoine-Laurent de Lavoisier

D: Claude-Louis Berthollet

13.

Den danske astronom Tycho Brahe (1546-1601) gennemførte en uhyre nøjagtig opmåling af himlens stjerner og planeter (navnlig Mars) i slutningen af 1500-tallet fra sit observatorium Stjerneborg på øen Hven i Øresund.

Til dette formål var det nødvendigt, at beregne sidelængderne af sfæriske trekanter. Et arbejde som var særdeles tidskrævende. Derfor havde Tycho Brahe ansat nogle assistenter.

Longomontanus (1562-1647) var hans mest betroede assistent. Oprindeligt hed han Christen Sørensen og var født i Lomborg ved Lemvig. Hans navn er den latiniserede udgave af hans fødebys navn. Han blev i øvrigt den første leder af observatoriet på Rundetaarn.

Longomontanus har beskrevet sine trekantberegninger for Tycho Brahe i det astronomiske hovedværk: *Astronomia Danica* fra 1622.

Til beregningerne skulle man anvende multiplikationer af store tal (fire- og femcifrede tal). Det var tidsrøvende og krævede megen omhu for at undgå fejl. Man fandt så på, at anvende en metode, som var kendt helt tilbage fra 1200-tallet (Ptolemæus' tid). Metoden hed: Prosthaphaeresis – et græsk navn som betyder addition og subtraktion.

I 1590 fik Tycho Brahe på Hven besøg af kong James 6. af Skotland og hans læge Dr. John Craig. Kongen var i Danmark for at møde sin kommende brud: prinsesse Anna, datter af den danske kong Frederik 2.

Kongen og Craig tilbragte nogle dage hos Tycho Brahe og Craig fik her sandsynligvis kendskab til metoden Prosthaphaeresis.

Dette kendskab fortalte Craig videre til en af hans bekendte: nemlig matematikeren John Napier, Skotland, (1550-1617), som blev så inspireret, at han udviklede en helt ny regningsart, der blev publiceret i 1614 i værket: *Mirifici Logarithmorum Canónis Descriptio*.

En engelsk matematiker Henry Briggs (1561-1631) blev så begejstret for John Napier's opdagelse, at han videreudviklede den nye regningsart.

Det resulterede i værket: *Arithmetica logarithmica* fra 1624.

Det er denne udgave af regningsarten, vi har brugt helt op i vor tid; men nu anvendes den ikke længere p.g.a. lommeregnerens fremkomst.

Hvilken multiplikations-metode brugte Longomontanus og Tycho Brahe til deres trekantberegninger? Altså den metode som kaldtes Prosthaphaeresis.

- A: Anvendelse af sinustabel og trigonometriske ligninger
- B: Den klassiske metode
- C: De nyopfundne logaritmer
- D: En hjemmegjort mekanisk regnemaskine

**Svar:**

- 1: D**
- 2: B**
- 3: B**
- 4: A**
- 5: C**
- 6: A**
- 7: C**
- 8: C**
- 9: D**
- 10: D**
- 11: B**
- 12: C**
- 13: A**