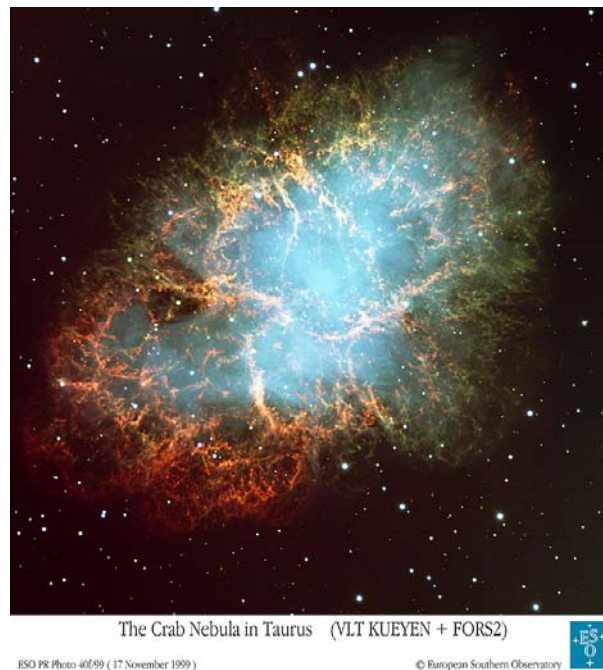


masse stjernen havde da den blev dannet. Lette stjerner med masser mindre end otte gange Solens masse ender deres dage som en planetarisk tåge (se Fig. 3). Det sker forholdsvis fredeligt at gassen så at sige fiser ud af stjernen som luften ud af en ballon. For tunge stjerner med en masse på mere end otte gange Solens masse sker alting meget hurtigere og langt mere voldsomt. Stjernen kolliderer og eksploderer, når der er dannet jern i dens indre. Stjernen er blevet til en supernova (se Fig. 4).



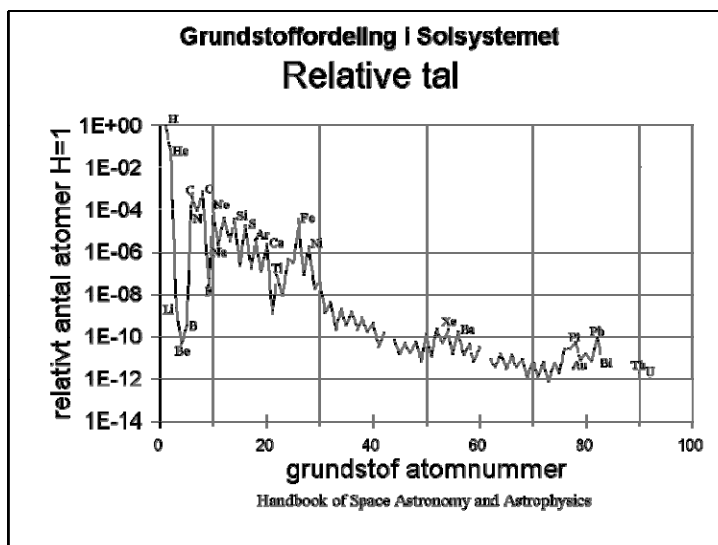
Figur 3: Den planetariske tåge IC418, der befinder sig i stjernebilledet Haren. Tågen befinder sig ca. 2.000 lysår fra Jorden. I midten ses den hvide dværg, der er tilbage efter at stjernen har kastet sine ydre lag ud i rummet. (Kredit: NASA).



Figur 4: Krabbetågen er resterne efter en eksploderet stjerne. Supernovaen blev observeret af kinesiske astronomer i år 1054. Afstanden til tågen er omkring 6.500 lysår. (Kredit: ESO).

Det betyder, at forskellige isotoper er dannet i helt bestemte typer af stjerner. Det betyder også, at Mælkevejen hele tiden beriges med tungere grundstoffer. Sammensætningen af grundstoffer i Mælkevejen er derfor anderledes nu, end den var dengang, hvor Solsystemet blev dannet for ca. 4,6 milliarder år siden. Og den vil også fortsætte med at ændre sig fremover. Universet bliver så at sige hele tiden mere og mere forurenet/beriget med tungere grundstoffer. Pt. udgør andelen af grundstoffer tungere end helium ca. 1 % af den samlede synlige stofmængde i universet.

Det at 1 % af den oprindelige H i universet i dag er omdannet til samtlige af de grundstoffer der er tungere end He betyder at det formentlig ikke har været muligt at danne planeter og levende væsener i det tidlige univers. Der har ikke i tidernes morgen været nok af de grundstoffer til stede som Jorden og levende organismer som os består af. Det rejser spørgsmålene:



Figur 3: Mængden af grundstoffer i Universet i dag relativt til mængden af brint. Bemærk at de 8 mest hyppige grundstoffer er H, He, O, C, Ne, N, Si og Fe. (Kredit: Erling Poulsen, Rundetårn).

Hvor langt tid har det taget at lave nok af de grundstoffer der er tungere end He til at man kunne danne planeter? Kan det være at grunden til at

vi ikke har hørt fra andre levende væsener, at vi er den første generation af intelligente væsener i Universet? Måske tager det 8 milliarder år at lave nok kulstof til at lave de komplicerede molekyler vi består af, måske har det hele kunne gøres meget hurtigt, f.eks. i løbet af mindre end en milliard år. Vi ved det endnu ikke.

Liv

For at kunne lede efter liv andre steder i Universet er det nødvendigt med en definition af hvad liv er. Som regel er liv mere komplekst end ikke-liv, og det besidder informationsbærende molekyler (gener) som på Jorden udgøres af nukleinsyrer (kernesyrerne DNA og RNA) og proteiner.

Helt centralt for de molekyler der indgår i levende organismer på Jorden er at de består af kulstof der har den formidable egenskab at det kan danne lange stabile og fleksible kæder til forskel fra f.eks. silicium.

Faktaboks: Jordisk livs karakteristika

- Selv-opretholdelse: Evnen til at modstå livstruende ændringer i omgivende miljø
- Selv-regulering: Evnen til at fungere fysiologisk optimalt: temperaturregulering
- Selv-reproduktion: Mennesker laver andre mennesker, kaniner andre kaniner, robotter laver biler, biler laver ikke biler!
- Selv-organiserende: Encellede dyr organiserer stof og deler sig (selv-reproduktion). Hos pattedyr tager det ægget længere tid at organisere sig til et voksent reproducerbart individ.

Orden i universet kræver en lav entropi, der igen kræver en konstant tilførsel af stof (mad) og/eller energi (i lys, molekyler eller mad)

En anden karakteristisk egenskab ved livet på Jorden er at det er homochiralt. Stor set samtlige aminosyrer findes i to udgaver (enantiomere) – en venstre- og en højredrejet (se Fig. 6) der er hinandens spejlbilleder. De aminosyrer der indgår i opbygningen af levende organismer er alle venstredrejede, dette fænomen går under betegnelsen homochiralitet. Hvorvidt homochiralitet er en universal egenskab ved liv eller om det er tilfældigt at livet på Jorden har valgt den ene form af to mulige, er endnu en uløst gåde. Hvis man finder enten levende eller fossilt liv på Mars med modsat chiralitet, vil det indikere at det er en tilfældighed hvorvidt en planet ender med den ene eller den anden form. Hvis muligt liv på Mars har samme form som på Jorden, bliver vi ikke meget klogere, fordi vi så ikke kan udelukke forurening. Måske kom livet på Jorden oprindeligt fra Mars? Måske kommer mulige fund på Mars fra Jorden?

Undersøgelser af meteoritter har indikeret en overhyppighed af homochirale molekyler, hvilket kunne tyde på at Universet har en større forekomst af den jordiske form og at liv andre steder derfor vil have en øget sandsynlighed for at være som liv på Jorden. Men det kan også være at den lille overhyppighed man finder i meteoritter skyldes jordisk forurening.

Det faktum at vi har svært ved at lave en simpel definition af hvad liv er og at vi derfor ikke kan være sikre på at vi vil kunne kende det når vi ser det, har resulteret i at vi i første omgang koncentrerer indsatsen på at finde flydende vand og planeter andre steder i Universet. Flydende vand antages at være en forudsætning for liv. Andre væsker ville også være en mulighed, men da H, O og C er blandt de fire hyppigste grundstoffer i universet, er det mest sandsynligt, at levende organismer vil være opbygget af C og benytte H₂O som den væske der skal gøre de forskellige kemiske reaktioner mulige.

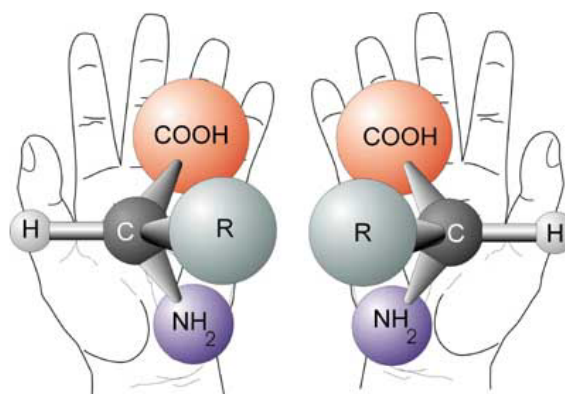
Flydende vand eksisterer kun ved specifikke tryk- og temperaturforhold, det er derfor mest sandsynligt at flydende vand eksisterer på planeter. Det betyder at eksistensen af en planet med flydende vand forudsættes at være en nødvendig (men ikke nødvendigvis tilstrækkelig) betingelse for eksistensen af liv.

Exoplaneter

I de sidste ti år har det været muligt, at afsløre tilstedeværelsen af planeter omkring andre stjerner end Solen (såkaldte exoplaneter).

De mere end 130 planeter, der indtil videre er blevet fundet, er alle store gasplaneter som Jupiter der kredser meget tæt på deres stjerne. At det er den slags planeter vi observerer, skyldes primært at de metoder, der anvendes til at finde exoplaneter, først nu er ved at blive følsomme nok til at kunne registrere planeter som Jorden i

Origin of life: the chirality problem



Figur 4: En 2-aminosyre kan have to stereoisomere former. Aminosyre der indgår i levende organismer på Jorden er alle venstre drejet (L-aminosyre), hvis rumlige struktur ses til højre.

jordlignende baner om andre stjerner. Det er derfor ikke noget mærkeligt i at vi indtil videre finder planetsystemer som er meget anderledes end Solsystemet. Vi kan derfor endnu ikke svare på om jordlignende planeter er meget sjældne eller ganske ordinære. Men inden for ganske få år vil vores observationsteknikker være blevet så meget bedre at jordlignende planeter vil være blevet fundet hvis de findes. De store glasplaneter kan meget vel tænkes at have måner af anselig størrelse (tænk blot på Saturns Titan og Jupiters Ganymedes, der er på størrelse med Merkur) som kan gøre det ud for en fast klippeplanet hvorpå flydende vand har mulighed for at eksistere (men dog ikke hvis gasplaneten er meget tæt på sin stjerne). Det at vi inden for 10 år har fundet over 130 planeter uden for Solsystemet tyder på at eksistensen af planeter er ganske hyppig og et almindeligt fænomen i forbindelse med stjernedannelse. Der er derfor ikke noget grund til at tro at vores eget Solsystem er enestående selv om vi endnu ikke har set dets lige, for vi ville ikke kunne se os selv hvis vi sad et andet sted i Mælkevejen fordi vores metoder endnu ikke er sofistikerede nok. Det virker derfor overordentlig sandsynligt at der må findes planeter andre steder i Universet som indeholder flydende vand, men det behøver ikke nødvendigvis betyde at der er liv. For godt nok mener vi at tilstedeværelsen af en planetoverflade med flydende vand er en nødvendig betingelse for dannelsen af levende organismer, men vi ved ikke om det er en tilstrækkelig betingelse. Hvis der er de rette forhold, er det mest sandsynlige at levende væsener vil være kulbaserede ligesom Jordiske liv, simpelthen fordi at C er et af de hyppigste grundstoffer i Universet. Astronomers store fascination af C og H₂O i forbindelse med søgen efter liv i universet skyldes ikke mangel på fantasi men ganske almindelig sandsynlighedsregning!

Relevante links:

Opskrift på liv i universet

<http://www.dr.dk/videnskabold/interaktivitet/forskersite/anjaopskrift.shtm>

Rundetårns sider om astronomi

<http://www.rundetaarn.dk/dansk/observatorium/>

Astronomibladet.dk har generelle astronominyheder

<http://www.astronomibladet.dk/>

Rummet.dk om rumfart og astronomi

<http://www.rummet.dk>

Tycho Brahe Planetariets astronomisider

<http://www.tycho.dk/astronomi/>

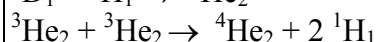
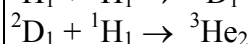
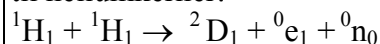
DRs videnskabsportal med astronomiemner

<http://www.dr.dk/Videnskab/Emner/Universet/UniversetForside.htm>

Faktaboks: Grundstoffernes dannelse

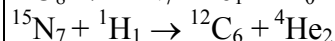
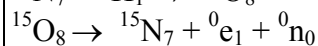
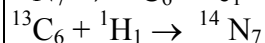
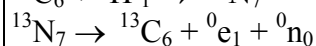
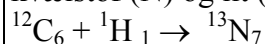
Stjernerne skaffer sig energi via fusion, det kan ske på to forskellige måder. Hvilken af de to en stjerne benytter afhænger helt af stjernens masse.

Lette stjerner ($M_* < 8 M_{\text{sol}}$) benytter pp-reaktionen, hvor brintkerner smelter sammen til heliumkerner:



Hvor ${}^0\text{e}_1$ er en antielektron og ${}^0\text{n}_0$ er en neutrino.

Mens at tunge stjerner ($M_* > 8 M_{\text{sol}}$) benytter CNO-reaktionen hvor kulstof (C), kvælstof (N) og ilt (O) katalyserer processen, men ikke selv forbruges:

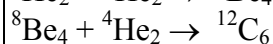


Ved begge processer sker sammenlagt at fire brintkerner bliver til en heliumkerne + energi, de dannede antielektroner forsvinder når de rammer nogle almindelige elektroner: ${}^0\text{e}_1 + {}^0\text{e}_{-1} \rightarrow 2 \gamma$ (gammastråler)

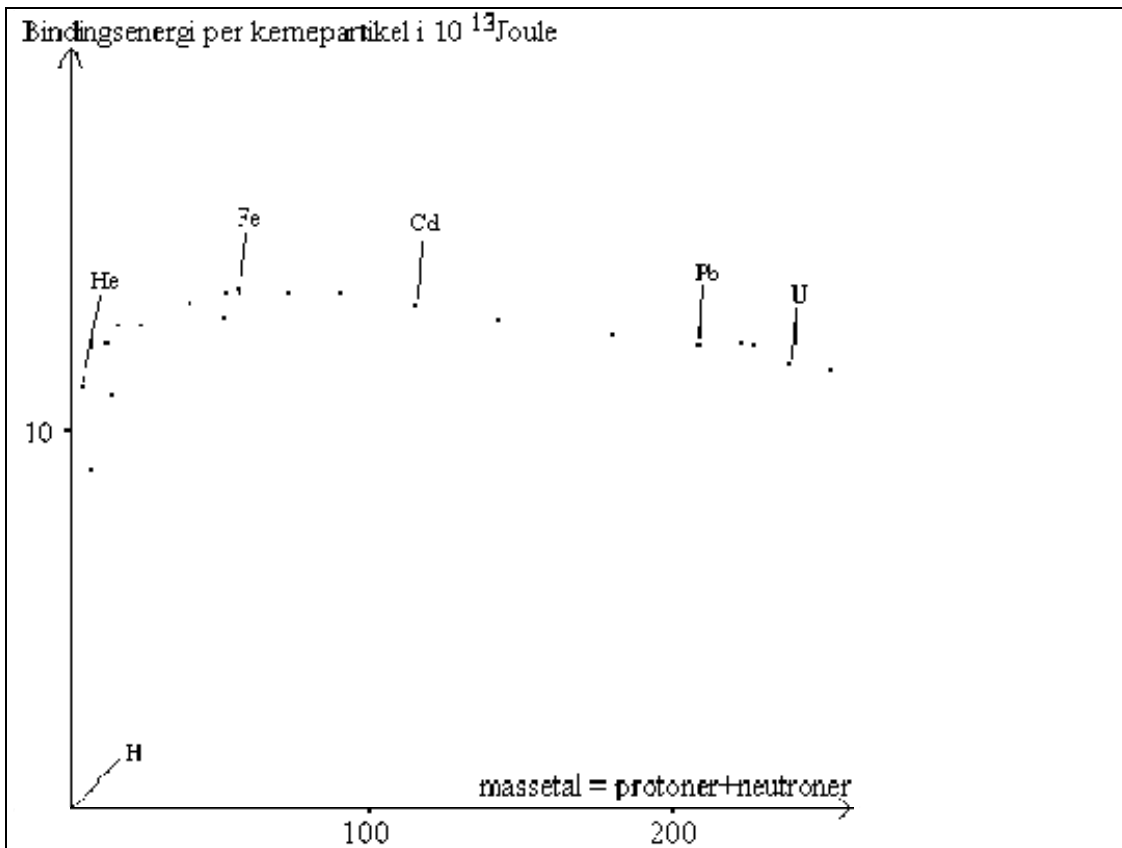
Neutrinoerne (${}^0\text{n}_0$) vekselvirker næsten ikke med noget og forsvinder ud af stjernen.

Ved temperaturer i stjernens indre på under $16 \cdot 10^6$ grader er det hovedsagelig pp-reaktionen der hersker, mens for temperaturer over $16 \cdot 10^6$ grader er det CNO-reaktionen der hersker. I Solens centrum er ca. $15 \cdot 10^6$ grader og i tungere stjerner er der varmere, præcist hvor varmt afhænger af stjernens masse. Fordelen ved CNO-processen er at den er mere effektiv end pp-reaktionen.

I meget tunge stjerner kan fusionsprocesserne gå videre idet den høje temperatur muliggør følgende proces:



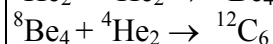
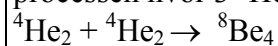
Lignende processer (${}^4\text{He}_2 + {}^{12}\text{C}_6 \rightarrow {}^{16}\text{O}_8$, ${}^4\text{He}_2 + {}^{16}\text{O}_8 \rightarrow {}^{20}\text{Ne}_{10}$ osv.) vil i tunge stjerner resultere i at de primært ender med at have jernkerner i deres centret. En jernkerne er kendetegnet ved at have den højeste bindingsenergi (se Fig. 3), fusion eller fission af jernkerner kræver derfor energi. Da stjernen har brug for at producere energi for at strålingstrykket kan modvirke sammenpresningen fra tyngdekraften, stopper stjernens fusionsprocesser med dette grundstof. Stjernen kolliderer dermed og eksploderer som en type II supernova.



Figur 5: Atomkernernes bindingsenergi. Det ses at jern (Fe) har den højeste bindingsenergi af samtlige atomkerner. Det betyder at det ikke er muligt at skabe energi ved fusion eller fission af jernkerner. Atomkernerne til venstre for Fe vil kunne opnå større bindingsenergi ved fusion mens at atomkernerne til højre for jern vil kunne opnå et højere bindingsenergi ved fission. (Kredit: Erling Poulsen, Rundetårn).

Grundstoffer tungere end jern dannes således ikke ved fusion men ved neutron-indfangning. Neutroner produceres dels under fusionsprocesserne i løbet af stjernens liv men der bliver desuden produceret store mængde af neutroner under den efterfølgende supernovaeksplosion. Atomkerner der indfanger en neutron kan ved β -henfald blive til et tungere grundstof (f.eks. $^{58}\text{Fe}_{26} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{59}\text{Fe}_{26}$; $^{59}\text{Fe}_{26} \rightarrow {}^{59}\text{Co}_{27} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\bar{\nu}$; o.s.v.).

Det er en konsekvens af Einsteins berømte ligning $E=mc^2$ (hvor E er energi, m er masse og c er lyshastigheden) at det giver energi at smelte to atomkerner sammen. I processen hvor $3 {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$:



vil en lille mængde masse blive omdannet til energi:

$$\text{Massen af 3 helium kerner} = 1,993979 \cdot 10^{-26}$$

$$\text{Massen af 1 kulstof kerne} = 1,992684 \cdot 10^{-26}$$

$$\text{Tabt masse} = 0,001295 \cdot 10^{-26}$$