

En sjov og nem måde at
lære noget om astrofysik

Stjernerdannelse

FOR
~~DUMMIES~~
Humanister

Alt hvad man
skal vide for at
bygge sin egen
stjerne!



En Guide
for andre
Fakulteter

Aarhus Universitet
Nikolai, Tessa, Niels og Christian



Vi advarer om, at stjerner har en udløbsdato, afhængig af deres masse. Hvis du ikke er opmærksom på denne dato, kan du risikere, at din stjerne udvider sig til en rød kæmpe med fare for at udslette planeterne omkring den.



Vær opmærksom på, at den anbefalede masse af din stjerne er mindre end 7 gange solens masse. Dette minimerer risikoen for eksplosioner eller uventede sorte huller.



Det anbefales ikke at stå for tæt på din færdige stjerne, da denne kan være meget varm.



Det anbefales at bruge solcreme under konstruktionen, for at beskytte dig mod strålingen, der vil komme fra din stjerne.



Stjerner bør holdes uden for børns rækkevidde.

Fra Støv til Stjerner

Hvis du nogensinde har haft lyst til at bygge din egen stjerne, og så bruge den som energikilde, skal du blot følge guiden her. Denne manual vil vejlede dig gennem de påkrævede processer for at lave en stjerne helt fra bunden!

Alting omkring dig, fra bygninger og træer til Månen, Solen og Jorden selv, startede som en enorm, kold sky af gas, støv og andre små partikler.¹ En sådan sky er nok ikke fuldstændig ensartet, men indeholder små uregelmæssigheder i sin struktur.

På et tidspunkt bliver skyen så ramt af en forstyrrelse af en art, hvilket f.eks. kunne være trykbølgen fra eksplosionen af en nærliggende stjerne, altså en supernova.

Indtil videre har partiklerne i skyen mere eller mindre været i hvile; de bliver trukket ind mod skyens midte² af tyngdekraften samtidig med, at de skubbes udad af alle de andre partikler, som allerede hvirvler rundt derinde.³ Med den pludselige forstyrrelse ændrer denne ligevægt sig!

Forstyrrelse ødelægger nemlig ligevægten, og den begynder derefter at trække sig sammen på grund af den enorme samlede tyngdekraft fra alle de små partikler i skyen.

Efterhånden som de mest kompakte områder af skyen langsomt falder ind mod hinanden, begynder midten langsomt at varmes op, indtil den inderste del af skyen lyser kraftigt som en *protostjerne*, der er forstadiet til en almindelig stjerne.

¹ Jo varmere skyen er, jo mere bevæger alle de små partikler sig rundt og skubber hinanden udad. Derfor har relativt kolde skyer nemmere ved at danne stjerner.

En enkelt sky er større, end vi kan forestille os – sådan én bliver ofte til adskillige stjernesystemer!



Figur 1. Pillars of Creation, en interstellar sky af gas og støv.

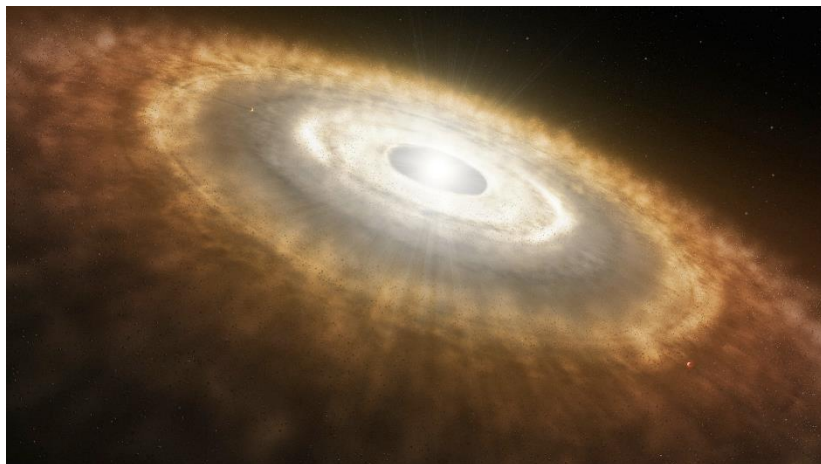
En sådan protostjerne kan være adskillige gange større end hele vores solsystem! Selvom de er så store og lyser så kraftigt, ser man dem dog ikke på nattehimlen – deres lys bliver nemlig blokeret af alt det støv, der stadig ligger udenfor protostjernen.

Al den varme og lys må jo komme et sted fra, og i dette tilfælde kommer den fra alle de små partiklers *potentielle energi*. Hvis noget har potentiel energi, betyder det, at det har muligheden for at falde og derved begynde at accelerere, hvilket giver de små partikler bevægelsesenergi eller *kinetisk energi*. Al den bevægelsesenergi bliver så lavet om til varme, så protostjernen til sidst lyser klart!

Derudover bliver det også varmere, jo tættere de små partikler er. At trykke ting sammen på den måde laver ikke ny energi i sig selv, men temperaturen stiger alligevel. Du kan se det som, at man har

² Teknisk set falder de ind mod centrummet for den samlede masse af skyen, men dette vil ofte være omkring midten alligevel, hvorfor forsimpningen skader minimalt.

³ Denne effekt kaldes *tryk*, og den findes overalt. Når man snakker om f.eks. tryk under vandet, er det i virkeligheden en masse små vandmolekyler, der støder ind i dykkerne.



Figur 2. En protoplanetarisk disk, der roterer omkring en protostjerne.

samlet alle de enkelte partiklers energi på meget mindre plads, så de bliver meget varmere.

Når alle disse små partikler af gas og støv falder ind mod midten, er det dog sjældent i en helt lige linje. Hvis partiklerne nu støder ind i hinanden på vejen, eller bliver skubbet af den forstyrrelse, som startede kollapset, begynder de at falde lidt til den ene side af skyens centrum, i stedet for mod midten.

Da disse partikler så misser midten af skyen, bliver de trukket indad igen, på præcis samme facon som Jorden bliver trukket rundt om Solen. Dette sker faktisk i så stor stil, at hele den resterende sky rundt om protostjernen, og skam også protostjernen selv, begynder at dreje rundt om midten.

På samme måde som Jorden ikke falder ind i Solen, fordi Jorden bevæger sig i så hurtigt i sin cirkel, falder de roterende partikler ikke længere ind i skyen lige med det samme.

De dele af skyen, der ikke allerede roterer, bliver så revet med af de

andre, indtil der samler sig en roterende skive om protostjernen, ligesom ringene omkring Saturn, i en *protoplanetarisk disk*, som figur 2 viser en illustration af.

Planeter bliver dannet igennem den samme proces, bare på mindre skala; små uregelmæssigheder i den protoplanetariske skive af støv om en ung stjerne kan langsomt samle mere og mere materiale ind, indtil de til sidst har ryddet deres egne baner rundt om stjernen for alt andet.

Stjerner såvel som planeter trækker sig så ind til de kuglerunde former, vi normalt tænker på dem som, på grund af tyngdekraftens træk. For i en kugle er så meget materiale som muligt så tæt som muligt på midten, hvad tyngdekraftens træk jo prøver at opnå.

Inde i protostjernen er der ikke længere kun et pres udad fra alle de varme partikler – nu er der også et pres fra alt lyset, som bare vil ud! Derfor bliver protostjernen kun langsomt mindre, efterhånden som den bruger sin energi på at lyse.

Dette fortsætter indtil det inderste af protostjernen, dens *kerne*, er så ekstremt tæt og varm, omkring *15 millioner* grader varmt, at den kan begynde at lave *fusion* som en rigtig stjerne, hvor den sætter mindre atomer sammen for at lave større, tungere atomer.

Fusionen sker ved, at partiklerne, som i virkeligheden er bittesmå *brintatomer*, kan sættes sammen til tungere atomer og endda lave energi til overskud! Det er på denne måde vores Sol producerer energi.

Disse nye, større atomer kan også sættes sammen under endnu mere ekstreme forhold. Denne proces kan, i store nok stjerner, fortsætte hele vejen op til man har en solid kerne af jern, der ikke kan fusioneres.

Du har måske hørt om fusionsenergi i nyhederne før, og det er denne proces, der bl.a. foregår i Solen, som vi prøver at efterligne her på Jorden for forhåbentlig at åbne op for en billig, ny energikilde. Men

det er let at undre sig over, hvor al denne ekstra energi skulle komme fra. For når man sætter to små atomer sammen, hvorfor kommer der så energi ud?

Svaret her er den såkaldte *bindingsenergi*. For kernerne i et atom består af *protoner*, der er voldsomt positivt ladede. Som med to magneter frastøder de positive poler hinanden, mens de negative poler gør det samme.

Bindingsenergien er så den energi, der skal til for at binde de modvillige protoner sammen i en enkelt atomkerne.

'Men det forklarer stadig ikke, hvorfor bindingsenergien gør solen varm!' protesterer du fornuftigt. Og du har ret! For den egentlige forklaring her er, hvad bindingsenergiens konsekvenser er.

Det kræver jo enorme mængder af energi at få to kerner fra brintatomer presset så tæt sammen. Men lige før de rører hinanden er der pludselig en anden kraft, der tager over!

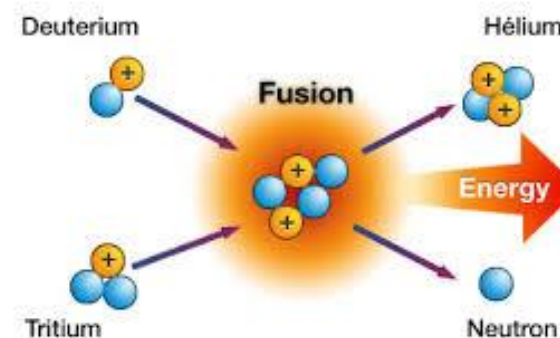
Mens specifikationerne af denne *stærke kernekraft* ligger udenfor omfanget af denne guide, kan den opsummeres som en enormt stærk kraft (som dens navn måske antyder), der har en meget kort rækkevidde.

Så snart de to atomkerner kommer så tæt på hinanden, er de derfor ikke længere frastødte – den stærke kernekraft kan endelig nå dem, og, da den er voldsomt meget stærkere end magnetismen, tvinge dem sammen.

Den stærke kernekraft er faktisk så voldsom, at der ved fusionen af to brintkerner kommer mere energi *ud* af deres pludselige tiltrækning, end der skulle til for at bringe dem så tæt på hinanden.⁴

Så når din nydannede stjerne endelig er varm og tæt nok til, at de første brintatomer over flere trin kan fusionere til helium (som er det

⁴ Denne proces bliver nemmere, og kræver derfor mindre varme, jo tættere atomerne er på hinanden. Derfor foregår den i stjernernes kerner, hvor trykket er enormt.



Figur 3. Fusionsproces med to former for brint, der bliver til helium.

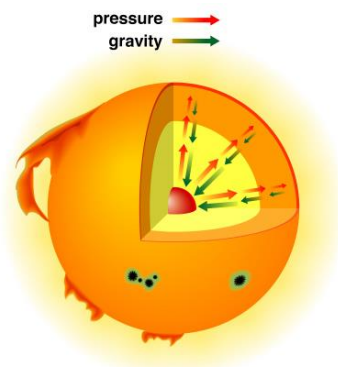
næste trin på den atomare stige), kommer der mere energi ud, end der kom ind!

Den nye energi starter så en kædereaktion, hvor hver fusion hjælper de næste fusioner med at finde sted, hvilket danner mere og mere energi.

Efterhånden som de bliver varmere, lyser stjerner mere og mere. Derfor når enhver stjerne et punkt, hvor den bruger lige så meget energi på at lyse udad, som den har i overskud fra fusionsprocessen. Altså har den fundet en ligevægt, hvor den hverken bliver varmere eller koldere, i hvert fald så længe den har brændstof til at opretholde fusionen.

Hvis din stjerne er tung nok, kan den ved endnu mere ekstreme pres og temperaturer begynde fusionen af tungere materialer, fra helium og videre opad.

Denne kæde slutter dog med jern – bindingsenergien, hvilket vil sige energikravet for fusioner, bliver større jo tungere atomet er. Jern er grænsen, da bindingsenergien for tungere grundstoffer er så stor, at



Figur 4. Model af trykket og tyngdekraften, der modarbejder hinanden.

man får mindre energi ud af en sådan fusion, end man putter ind til at starte med.

Derfor har selv de tungeste stjerner ikke kerner bestående af noget tungere end jern – det kan ganske simpelt ikke laves i en kædereaktion, som kan opretholdes.

Med denne kæde af fusioner kan du altså lave alle grundstoffer hele vejen op til jern, så længe man har brint nok, og man får endda energi ud af det!⁵

En ekstra bonus ved at lave din egen stjerne som energikilde er, at den er selvstabiliserende! Når du først har en færdig stjerne, ændrer den sig ikke synderligt på en menneskelig tidsskala.

Hvis stjernen eksempelvis blev varmere i kernen, ville det betyde, at alle de små atomer støder ind i hinanden oftere og hårdere. Sagt på en anden måde ville trykket stige. Dette tryk ville så forsøge at skubbe udad mod de mindre tætte dele af stjernen.

Effekten af dette ville være, at stjernen voksede en anelse. Men en udvidelse ville jo betyde, at den samme mængde materiale skulle

⁵Tungere grundstoffer dannes i døende stjerner, supernovaer, hvor der er kæmpe overskud af energi og partikler til at sætte sammen.

Da disse grundstoffer nu har mere bindingsenergi, kan man arbejde sig den

strækkes ud over mere plads! Derfor ville trykket i kernen hurtigt falde igen, og som følge af dette, ville fusionen i kernen gå lidt langsommere, hvorfor trykket ville falde.

Når trykket så falder, kan tyngdekraften kortvarigt dominere over det udadrettede tryk, så stjernen trækker sig sammen igen, indtil den omvendte proces atter gør stjernen større.

Den ultimative konsekvens er, at stjerner holdes i en *hydrostatisk ligevægt*, hvilket er nogle pæne ord der fortæller os, at den ikke ændrer størrelse.

Nu er din stjerne så dannet, og vi kan så nyde varmen og lyset fra dens fusion. 'Men vent nu lidt, hvor kommer lyset egentlig fra?' Svaret er, at alle objekter i virkeligheden lyser! Det er en konsekvens af deres indhold af varme. Dog udstråler langt de fleste ting så energisvagt lys, at vi som mennesker ikke kan se det.

Dette kaldes for *sortlegemestråling*, hvor farven afhænger af temperaturen. *Bølgelængden* af lyset er meget stor ved kolde objekter, hvilket betyder, at den er meget mindre energirig end f.eks. synligt lys, hvilket er grunden til, at f.eks. dine egne hænder tilsyneladende ikke lyser.

Bølgelængden bliver kortere og kortere jo varmere objektet er, og lyset begynder på et tidspunkt at bevæge sig ind i det synlige spektrum som rød, og senere gul og blå ved endnu højere temperaturer. Dette er grunden til at varme ting bliver rødglødende – de er så energirige, at de udstråler synligt lys!

Vores stjerne bliver så varm, at den nu ses som et bølgespektrum af farver, der tilsammen danner den farve, vi ser som hvid. Så det fungerer på samme facon som enorm glødepære, der er så varm på overfladen at den er hvidglødende.

anden vej op, dette kaldes fission, hvor kerner splittes, og er også hvad der sker i et atomkraftværk.