

# Lættar stjörnur enda sínar dagar sum hvítir dvørgar

Pól Jespersen



Altjóða  
stjörnufrøðiár 27

**Lættar stjörnur brenna í milliardir ár hydrogen til helium í høvuðsraðnum. Seinni verða tær reyðar kempur, brenna helium til carbon og enda um síðir sínar dagar sum hvítir dvørgar**

Eitt stórt skýggj av gassi og dusti hevur drigið seg saman. Hitin í miðdeplinum er av hesum vorðin so nógvur, at fusióntilgongdir kunnu fara fram. Hesar tilgongdir frígera so nógv orku, at gasstrýstið megnar at standa ímóti tyngdini. Samandrátturin er hildin uppat, javnvág er íkomin, og stjörnan er í høvuðsraðnum, har hon ger hydrogen um til helium.

Sólin hevur verið í høvuðsraðnum í um leið 5 mia ár, sí myndina, sum vísir, hvussu sólin flytur seg í H-R diagramminum, sum tíðin líður.

**Nýggj grundevni gjørd í stjörnunum**

Sum longu nevnt vóru í høvuðsheitum bara tvey grundevni til, hydrogen og helium, eftir at heimurin varð til í Big Bang. Spurningurin var so, hvaðan øll hini grundevnini stávaðu. Tann vitanin er reiðiliga nýggj. Fusióntilgongdir krevja stóran tættleika og nógvan hita, so tað var ikki trupult at gita, at her var bara ein møguleiki, innast í stjörnunum, har hitin kemur upp í mió og mia stig.

Í 1932 fullfígjar James Chadwick, 1891-1974, vitanina um atombýgnaðin, tá ið hann ávísir nevtronina, nevtrala partikkulinn í atomunum. Fjá ár eftir hetta eydnast týska alisfrøðingur Hans A. Bethe, 1906-2005, at greina, hvussu orkan í sólini kann stava frá kjarnatilgongdum, sum gera hydrogen um til helium.

Eg minnst, at Bethe fyri mongum árum síðan helt ein fyrilestur á Bohr Instituttinum í Keypmannahavn. Á sín eyðkenda stillisliga hátt greiddi hesin gamli maðurin á enskum við semerkum týskum máldámi frá granskning sínari viðvíkjandi tilgongdunum í sólini. Minnst eisini, at hann greiddi frá arbeiðinum at gera varmaskjoldrar til amerikansku rúmdarförini.

Bethe helt ikki - við tí vitan, sum var í 30'árunum - at nevnivert av evnum tyngri enn helium kundu verða gjørd í stjörnunum. Hetta verður ikki greitt fyr enn í 1957, tá ið Burbridge, Burbridge, Fowler og Hoyle viðgera hesi viðurskifti í marksetandi grein í Review of Modern Physics.

**Tíðin eftir høvuðsraðið**

Hvussu verður við stjörnunum eftir høvuðsraðið, er ein spurningur um nøgd. Sum talvan vísir, liva tungar og lættar stjörnur ikki líka leingi, og lagna teirra er eisini ógvuliga ymisk.

Sum hydrogenið í miðdeplinum verður brúkt, fær stjörnan ein heitan kjarna av helium. Tilfarið verður ikki blandað, og hydrogenbrennandi økið flytur seg longur frá miðdeplinum. Fyrr ella seinni verður heiti heliumkjarnin so stórus, at tyngdin fer at draga hann saman. Tá verður frígjørd orka, sum fær hitan at vaksa eisini í hydrogenbrennandi økinum. Orkugerðin verður sett upp, og helium verður gjørt í alsamt størri mongdum.

Miðdepilin dregur seg meira saman og verður heitari og heitari. Tann javnvág, sum hevur verið ímillum samandragandi tyngdina og trýstkraftina frá heita gassinum, sum heldur ímóti, verður nú brotin. Úrslitið er, at rúmdin verður broytt skjótt og ógvuliga. Stóra orkugerðin fær stjörnunna at bólga, og samstundis fellur hitin á ýtuni, so stjörnan nú verður reyðligari á liti. Ytru partarnir á stjörnunni eru nú mest at bera saman við eitt "reyðgløðandi vacuum". Stjörnan er vorðin ein reyð kempa og fer uppeftir og til høguru

Nøgd máld í sólnøgðum	Tíð sum proto-stjörna í árum	Lívslongd í milliönnum árum
15	60.000	10
5	600.000	70
3	3.000.000	240
1	50.000.000	10.000
0,5	200.000.000	100.000
0,1	500.000.000	10.000.000

í H-R diagramminum, sí mynd. Orkan stavar frá hydrogenbrenning um ein lítlan, tættan og ógvuliga heitan kjarna av helium.

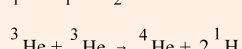
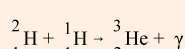
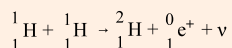
Hitin í kjarnanum er farin upp í eini 100 mió K. Tað er so heitt, at ein nýggj

**Hvítur dvørgur**

Tá ið einki helium er eftir at brenna í miðøkinum í lottum stjörnum við nøgd minni enn um leið  $1,4 M_{\text{sól}}$  fæst orka bara úr hydrogenbrenning uttast í stjörnunni. Nýggjar tilgongdir tendra

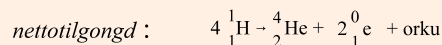
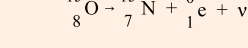
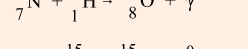
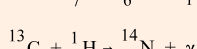
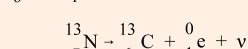
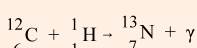
**Fusióntilgongdir, sum fara fram í sólini á núverandi menningarstigi**

*pp - tilgongdin:*



H: hydrogen  
He: helium  
C: carbon  
N: nitrogen  
O: oxygen

*CNO - tilgongdin:*

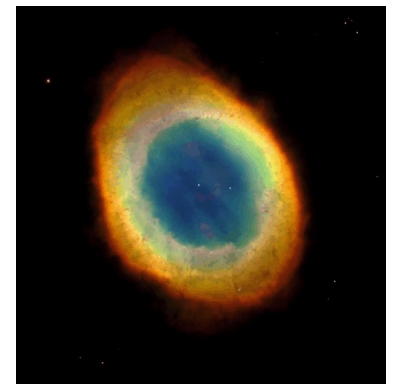


**Talvan vísir tvær kjarnatilgongdir, sum fara fram í sólini, pp-tilgongdina og CNO-tilgongdina. Nettotilgongdin er í báðum førum, at 4 hydrogenkjarnar verða til ein heliumkjarna, tvær positronir og orku. Sum hitin er í sólini, ger pp-tilgongdin nógv ta mestu orkuna. CNO-tilgongdin hevur størri týðning í heitari stjörnum.**

fusióntilgongd kann fara fram. Triggir He-kjarnar kunnu verða bræddir saman til ein carbonkjarna og orku. Nú kemur í ein nýggj javnvág, har fusióntilgongdir fara fram í tveimum økjum, heliumbrenning í einum lítlum kjarna og hydrogenbrenning uttan um kjarnan. Er nøgdin í stjörnunni minni enn um leið 2,5 sólnøgdir, verður um hetta mundið eitt sonevnt "heliumflash". Orsøkin er, at tættleikin í miðøkinum verður so stórus, at tann kopling, sum higartil hevur verið ímillum hita og trýst, hvørvur. Trýstið er nú bara heft at tættleikanum. Trygdarventilurin er so at siga ikki virkin longur. Tað fær ógvuligar fylgjur. Er bara ein lítill hitavøkstur, veksur orkugerðin, sum aftur fær hitan at vaksa o.s.fr. Orkugerðin fer eina tíð av lagi. Seinni aftur verður hitin so høgur, at "degeneratióin" - sum hetta verður nevnt - hvørvur, og vanliga sambandið ímillum hita og trýst kemur í aftur.

**Brennievnið gongur undan**

So hvørt sum brennievnið gongur undan, flyta orkugerandi økini seg úteftir í stjörnunni. Av tí fellur hitin, og orkugerðin minkar. Tyngdin fær aftur yvirtakið og dregur stjörnunna meira saman. Tað fríger so nógv orku, at hitin í stjörnunni veksur, og hon flytur seg til vinstru í H-R diagramminum.



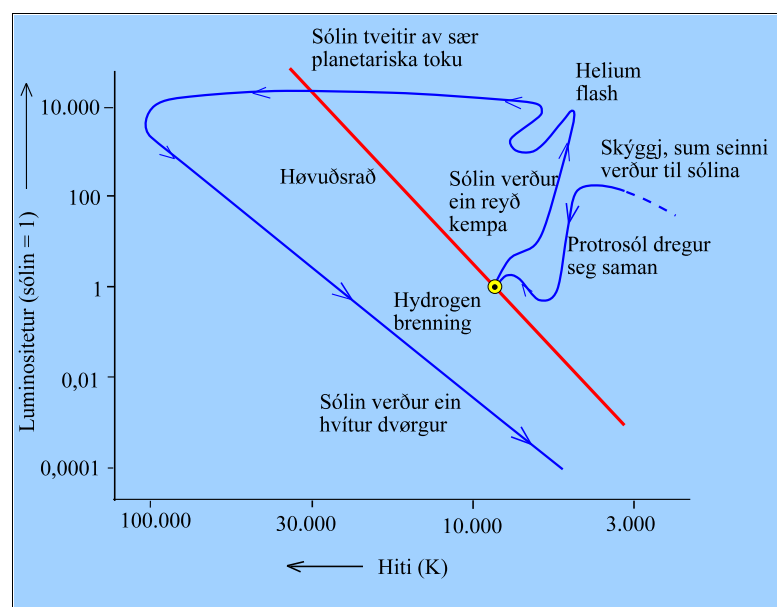
Planetary ring M 57 í stjörnu-merkinum Lýra. Ein stjörna hevur tveitt ytru lögini av sær í einari novasprenning. NASA.

frá geislingini so stórus, at ein novasprenning verður. Tey ytstu lögini við seinasta brennievnum verða slongd út í rúmdina, og fusióntilgongdinar steðga. Um stjörnunna legst tá ein ringur av lýsandi gassevnum, sum verður nevndur ein "planetary ring toka", sí mynd. Heitið er sjálvandi óheppið, tí hetta hevur einki við planetir at gera.

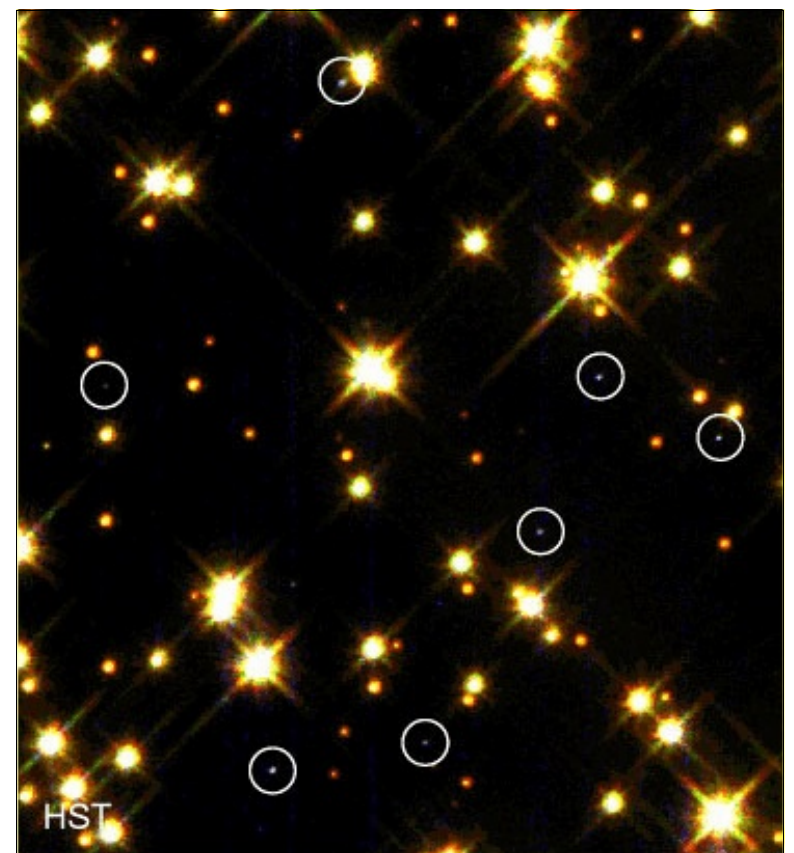
Tað, ið eftir er av stjörnunni í miðjuni á ringinum, verður nevnt ein hvítur dvørgur. Einki nýtiligt kjambrennievni er eftir, og einasta orkukelda er frígjørd støðuorka. At enda kann tyngdin ikki pakka tilfarið tættari, og stjörnan kólnar spakuliga, meðan hon í H-R diagramminum fer á skák niðureftir til høguru móti "kirkjugarðinum" fyri hvítar dvørgar undir høvuðsraðnum, sí mynd.

Hvítir dvørgar eru til støddar bara um leið 1 % av sólini, t.e. nakað sum jørðin til støddar, men nøgdin er nakað sum í sólini. Tættleikin í teimum er tí ógiligur, um leið 100 tons/cm<sup>3</sup>. Tilfarið í teimum er mest kolevni og oxygen. Ein kendur hvítur dvørgur er Sirius B, sum melur um Sirius A.

Stjörnur við størri nøgd fáa ein ógvuligari deyða, enn hvítu dvørgarnir. Meiri um tær stjörnumar í næsta parti.



H-R diagramm, sum vísir menningarleiðina hjá sólini. Í eini 5 mia ár hevur sólin verið í høvuðsraðnum, og har verður hon verandi eini 5 mia ár afturat. Sólin brennir hydrogen til helium. Tá ið hydrogenið fer at ganga undan, fer hon at brenna helium. Tann tilgongdin krevur hægri hita. Tá ið tað verður, fer sólin at gerast ein reyð kempa. Seinni aftur fer hon at enda sínar dagar sum hvítur dvørgur.



Hubblemynd av kúluskapaða stjörnuhópinum M4. Himmalknottirnir við ringi um eru hvítir dvørgar. NASA.