Astrofysik

Ugeseddel 3 **2007**

Ved forelæsningerne 18/4 og 20/4 gennemgår jeg stjerneudvikling og grundstofsyntese (*Fundamental Astronomy*, Kapitel 11). Desuden behandler jeg kort undersøgelser af Solen, specielt neutrinoproblemet og helioseismologi (*Fundamental Astronomy*, afsnit 12.1; se også den relevante del af afsnit 3.7). Endelig diskuterer jeg kompakte objekter (*Fundamental Astronomy*, Kapitel 14).

I uge 17 vender Torben tilbage. 25. april diskuterer han variable stjerner (*Fundamental Astronomy*, Kapitel 13) og 27. april behandler han stjernehobe (Kapitel 16) og Mælkevejssystemet (Kapitel 17).

På de næste sider af denne ugeseddel giver jeg lidt uddybende materiale om stjernernes struktur og stjerneudvikling, som gennemgået ved forelæsningerne, med en mindre revision af beskrivelsen i *Fundamental Astronomy*.

Ved øvelserne 24. og 25. april gennemgår vi

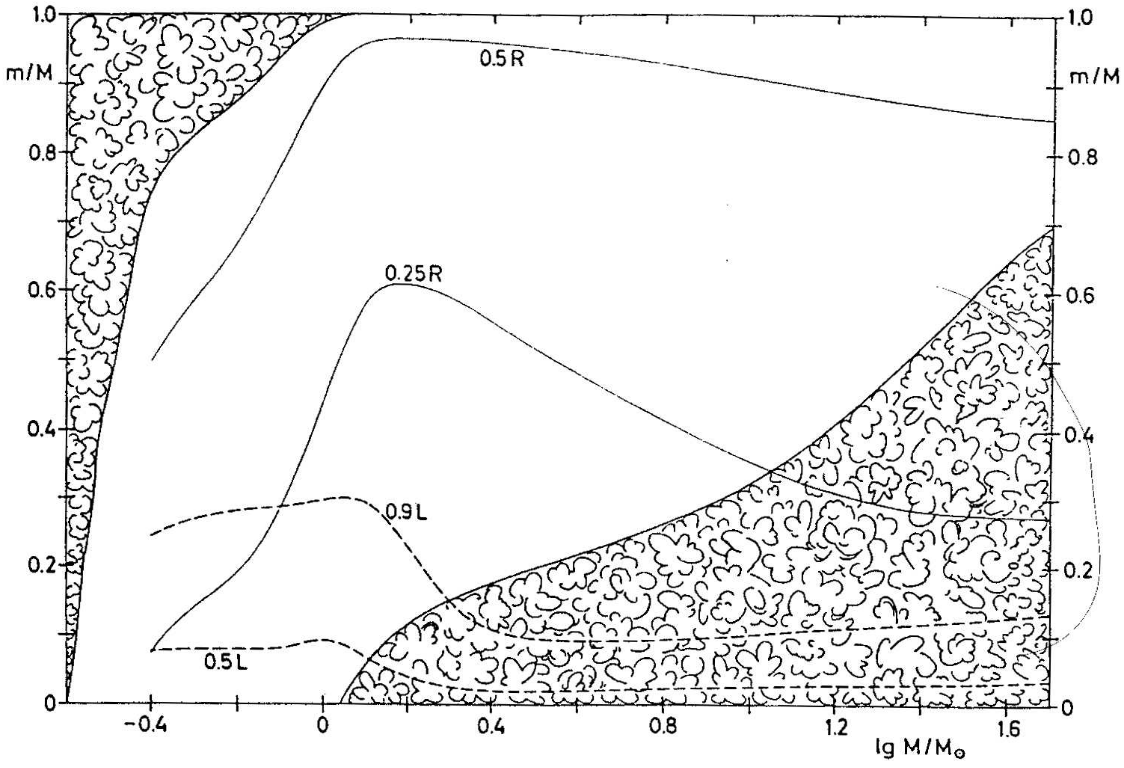
- De udleverede opgaver 10 og 11.
- *Opgavesamling til A4 Astrofysik I*, opgave 33. I beregningen af den frigivne gravitationelle potentielle energi kan I nøjes med at skønne over B stjernens oprindelige energi og argumentere for at den er forsvindende i det samlede regnskab.
- *Opgavesamling til A4 Astrofysik I*, Vintereksamen 1987/88, opgave 1. Polytrope modeller har en specielt simpel tilstandsligning og dermed struktur. De er baseret på antagelse at

$$P = K\rho^\gamma ,$$

  hvor K og γ er konstanter. Det gælder specielt for fuldstændig konvektive stjerner (dvs. stjerner på Hayashi sporet), hvis man antager idealgasloven; i dette tilfælde er $\gamma = 5/3$. Ud over det anførte har I kun brug for at vide at i en sådan polytrop model med index 3/2 gælder at $\rho = \rho_c(T/T_c)^{3/2}$, hvor ρ_c og T_c er den centrale massefylde og temperatur, samt at $\rho_c = c_1 M/R^3$ og $T_c = c_2 M/R$, hvor c_1 og c_2 er konstanter.

17. april 2007 Jørgen Christensen-Dalsgaard

Strukturen af alder-nul-hovedseriestjerner

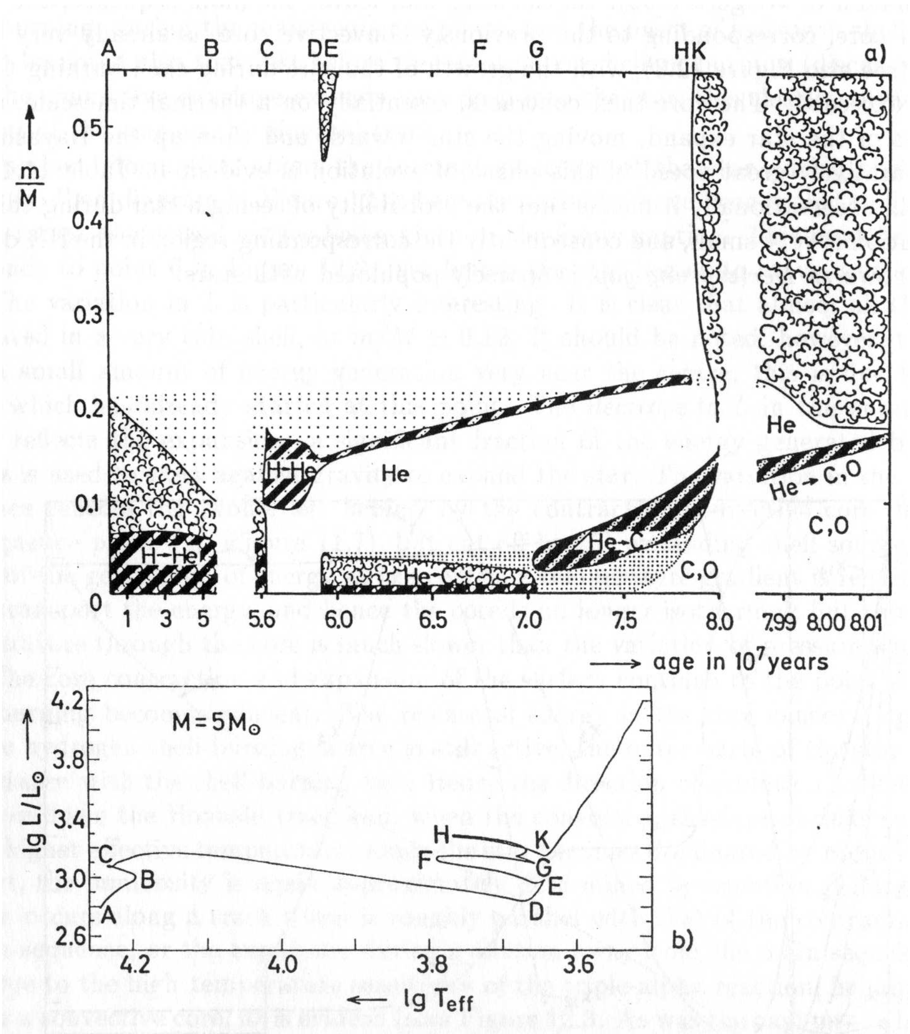


Strukturen af alder-nul-hovedseriestjerner, dvs. stjerner der netop er begyndt den centrale brintforbrænding. Abscissen angiver stjernernes masse, i enheder af solmassen ('lg' er 10-tals logaritmen). På ordinaten er markeret positionen i stjernen, angivet efter massen m (svarende til M_r i *Fundamental Astronomy*) inden for det betragtede punkt, i enheder af stjernens masse M. De 'skyede' områder markerer konvektionszoner i modellerne. De to fuldt optrukne linier viser den masse hvor r er $1/4$ og $1/2$ af stjernens overfladeradius R. De to stiplede linier markerer masserne inden for hvilke 50 % og 90 % af stjernens overfladelysstyrke dannes.

Bemærk specielt hvordan energiproduktionen bliver meget mere koncentreret mod centrum for masser lidt højere end $1M_\odot$. Det skyldes overgangen til dominans af CNO cyklen, og er også afspejlet i den voksende konvektive kerne fra dette punkt.

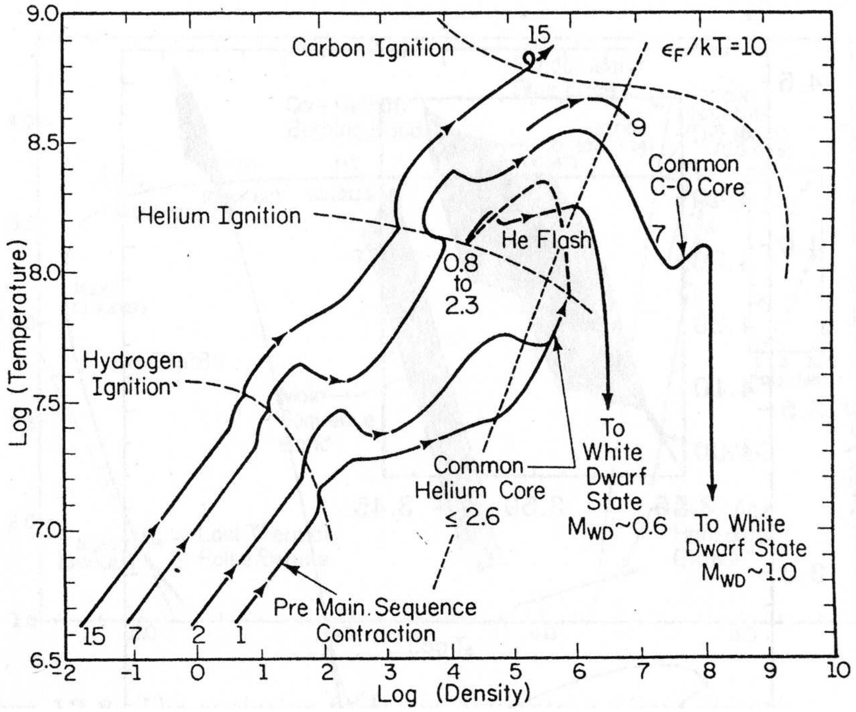
Figuren er fra Kippenhahn & Weigert, *Stellar Structure and Evolution* (Springer, 1990).

Mere om stjerneudvikling



Strukturen af en 5 $M_\odot$ stjerne under dens udvikling fra alder-nul-hovedserien frem til den asymptotiske kæmpegren. A – K i panel a) svarer til udviklingssporet i panel b). Kun de inderste 55 % af stjernens masse er inkluderet. Bemærk ændringerne i tidsskalaen på abscisse-aksen. Som i figuren på Ugeseddel 2 markerer de skyede områder hvor der er konvektion. Bemærk specielt forekomsten af konvektive kerner, samt den meget omfattende ydre konvektionszone i de sidste faser af udviklingen. Den kraftige skravering viser hvor der er væsentlig energiproduktion ved kernereaktioner, mens de prikkede områder viser hvor den kemiske sammensætning er blevet påvirket af kernereaktioner (det gælder f.eks. i det område der på et tidspunkt har indgået i den konvektive kerne).

Figuren er reproduceret fra Kippenhahn & Weigert, *Stellar Structure and Evolution* (Springer, 1990).



Variationen i den centrale massefylde og temperatur under udviklingen af stjerner med masser 1, 2, 7 og 15 $M_\odot$, i cgs enheder. De forhold hvor de forskellige kernereaktioner sætter ind er skitseret. Desuden er markeret (med $\epsilon_{\rm F}/kT = 10$) det område hvor elektron-degeneration sætter ind. For stjerner med masser mindre end ca. 9 $M_\odot$ begynder temperaturen at aftage før antændelse af kulforbrænding sætter ind. Det skyldes dels effekten af de degenererede elektroner, dels kraftig afkøling på grund af processer der producerer neutrinoer. Det betyder at, i modsætning til hvad der står i *Fundamental Astronomy*, p. 241, vil disse stjerner *ikke* eksplodere som supernovaer men ender som hvide dværge, kortvarigt omgivet af planetariske tåger. Kun for tungere stjerner fortsætter udviklingen frem til en supernovaeksplosion. Det skal dog nævnes at den detaljerede udvikling i disse sene faser er ret afhængig af den stadig noget usikre fysik og derfor ikke helt afklaret. Det gælder specielt massegrænserne mellem de forskellige udviklingsforløb.

Figuren stammer fra Iben (1985; *Q. Jl. Roy. astr. Soc.*, **26**, 1).