

<http://www.mporzio.astro.it/~marco/AstrofisicaStellare/>

Vittorio Castellani
INAF, Osservatorio Astronomico di Roma
INFN, Sezione di Ferrara

Fondamenti di Astrofisica Stellare

Versione ampliata, riveduta e corretta del testo "Astrofisica Stellare" edito da Zanichelli nel 1985

Indice

Introduzione.

Capitolo 1. Evidenze evolutive nell'Universo stellare.

- 1.1 Gli osservabili stellari
- 1.2 Le galassie: evidenze di evoluzione dinamica
- 1.3 Diagramma HR e isocrone di ammasso
- 1.4 La Galassia: evoluzione nucleare. Popolazioni stellari
- 1.5 L'Universo: evoluzione dinamica ed evoluzione nucleare
- 1.6 Gli obiettivi dell'astrofisica stellare

Approfondimenti:

- A1.1 Termalizzazione. Radiazione di corpo nero. Emissività stellare.*
- A1.2 Magnitudini ed indici di colore*
- A1.3 Le parallassi stellari. Seing*
- A1.4 Spettri stellari e tipi spettrali*
- A1.5 Gli ammassi stellari*
- A1.6 Galassie. Ammassi di Galassie. Quasar*
- A1.7 I sistemi binari e le masse stellari*
- A1.8 I nuclei atomici. Decadimenti radioattivi*
- A1.9 La legge di Hubble ed il Big-Bang*
- A1.10 Particelle elementari. La storia delle particelle nel Big.Bang*
- A1.11 Il problema della massa oscura.*

Capitolo 2. Natura e struttura delle stelle

- 2.1 L'equilibrio delle strutture stellari
- 2.2 La convezione ed il criterio di Schwarzschild. Overshooting
- 2.3 Trasporto radiativo e trasporto convettivo
- 2.4 Le atmosfere stellari e la trattazione degli strati atmosferici
- 2.5 Le variabili naturali del sistema
- 2.6 Metodi di calcolo: strati atmosferici, metodo del fitting, metodo di Henyey

Approfondimenti:

- A2.1 Energia interna, pressione della radiazione d pressione del gas perfetto*
- A2.2 Gradiente di temperatura e gradiente radiativo. Conduzione elettronica*
- A2.3 L'equazione di Oppenheimer-Volkoff. Il raggio di Schwarzschild*
- A2.4 Termodinamica della materia in condizioni stellari. Il gradiente adiabatico ed il criterio di stabilità*

- A2.5 La teoria della mixing-length*
- A2.6 Integrazione degli strati atmosferici*
- A2.7 Algoritmi risolutivi del metodo di Henyey*

Capitolo 3. Materia e radiazione in condizioni stellari

- 3.1 Il quadro fisico
- 3.2 Equazione di stato
- 3.3 L'opacità ed i meccanismi di interazione radiazione materia
- 3.4 Generazione di energia
- 3.5 Reazioni nucleari

Approfondimenti:

- A3.1 Eccitazione e ionizzazione: formule di Boltzmann e di Saha. Ionizzazione per pressione*
- A3.2 Degenerazione elettronica. Equazione di stato di un gas di Fermi*
- A3.3 Interazione radiazione elettrone libero: lo Scattering Thomson*
- A3.4 La media di Rosseland*

Capitolo 4. Le basi fisiche dell'evoluzione stellare

- 4.1 La formazione di strutture autogravitanti
- 4.2 Strutture di equilibrio e teorema del viriale
- 4.3 Combustioni termonucleari: la catena protone-protone
- 4.4 Elementi primari ed elementi secondari
- 4.5 Traiettorie evolutive per fusione di particelle cariche
- 4.6 Il ciclo CN-NO
- 4.7 Combustione dell'elio. Catena ^{14}N
- 4.8 Combustioni avanzate
- 4.9 Evoluzione stellare e fusioni nucleari

Approfondimenti:

- A4.1 La formazione stellare. Funzione iniziale di massa*
- A4.2 Il teorema del viriale*
- A4.3 Condizioni generali sulle strutture stellari*
- A4.4 Il ciclo CNO veloce*

Capitolo 5. La combustione centrale dell'idrogeno

- 5.1 Modelli di presequenza. Politropi.
- 5.2 Sequenze di modelli evolutivi
- 5.3 La presequenza
- 5.4 La traccia di Hayashi
- 5.5 La Sequenza Principale di Età Zero
- 5.6 La Sequenza Principale e l'esaurimento dell'idrogeno

Approfondimenti:

- A5.1 Modelli politropici. Equazione di Lane Emden*
- A5.2 La combustione degli elementi leggeri*
- A5.3 La convezione centrale da ^3He*
- A5.4 Eliosismologia, diffusione e Modello Solare Standard*

A5.5 Neutrini solari

A5.6 La fase di esaurimento dell'idrogeno

Capitolo 6. Combustione dell'idrogeno in shell

6.1 Il limite di Schoenberg Chandrasekhar. La gap di Hertzsprung.

6.2 Stelle di piccola massa: il ramo delle giganti e il flash dell'elio.

6.3 Giganti Rosse di piccola massa: primo "dredge up" e velocità evolutiva.

6.4 Linee evolutive e isocrone di ammasso.

Approfondimenti:

A6.1 Efficienza della convezione superadiabatica. Indeterminazione sui raggi stellari.

A6.2 Stelle deficienti o prive di metalli. La Popolazione III.

A6.3 Il flash dell'elio.

A6.4 Masse limite per la combustione dell'idrogeno. Nane Brune.

A6.5 Isocrone teoriche e funzioni di luminosità per Ammassi Globulari.

Capitolo 7. Combustione dell'elio e fasi evolutive avanzate: le piccole masse

7.1 Generalità sulle fasi di combustione di elio. Piccole masse, masse intermedie e grandi masse.

7.2 Combustione centrale di elio: trasciammento del nucleo convettivo e semiconvezione indotta.

7.3 Stelle di piccola massa: perdita di massa, ZAHB ed evoluzione di Ramo Orizzontale.

7.4 Stelle di piccola massa: esaurimento dell'elio centrale. Ramo asintotico.

7.5 I puls termici ed il terzo dredge up.

7.6 Nane Bianche: la relazione massa-raggio.

7.7 La massa limite di Chandrasekhar.

Approfondimenti:

A7.1 Breathing pulses.

A7.2 Perdite di massa: Giganti Rosse, Blue HB, AGB Manqué e Hot Flashers.

A7.3 Rotazione stellare. ZAHB rotazionali.

Capitolo 8. Combustione dell'elio e fasi evolutive avanzate: masse intermedie e grandi masse

8.1 Lo scenario generale.

8.2 La transizione tra masse piccole e intermedie.

8.3 Masse intermedie.

8.4 Grandi masse: combustione di H ed He.

8.5 Limiti superiori di massa. Quadro riassuntivo

8.6 Grandi masse: combustioni avanzate.

Approfondimenti:

A8.1 Strutture "Not-too-old" in combustione di He .

A8.2 La Red Giant Transition.

A8.3 Nuclei degeneri. Puls termici. Biforcazione del Carbonio.

A8.4 Modelli con overshooting invasivo.

A8.5 Strutture deficienti in metalli e M_{up} .

A8.6 Il bilancio del Viriale e il criterio di stabilità delle strutture.

A8.7 La storia gravitazionale

Capitolo 9. Riscontri e problematiche osservative

9.1 Calibrazione e validazione dello scenario teorico.

9.2 Ammassi di disco e masse intermedie.

9.3 Ammassi Globulari Galattici: procedure di fitting ed età.

9.4 Ammassi Globulari Galattici: composizione chimica e problema dell'elio. Il parametro

R.

9.5 Il problema del secondo parametro e le "Code Blu".

9.6 Ammassi sintetici e colori integrati.

Approfondimenti:

A9.1 Il Gruppo Locale.

A9.2 Masse intermedie ed overshooting invasivo.

A9.3 Ammassi Globulari: i Rami delle Giganti Rosse.

A9.4 Ammassi Globulari: Nane Bianche di He e Hot Flashers.

Capitolo 10. Le stelle variabili

10.1 Cenni storici ed inquadramento.

10.2 Pulsatori radiali.

10.3 RR Lyrae.

10.4 Cefeidi classiche.

10.5 Validazione della teoria. Progressione di Hertzsprung.

Approfondimenti:

A10.1 Il giorno giuliano.

A10.2 Curve di luce e curve di velocità.

A10.3 Relazioni Periodo-Mk. Indici di Wesenheit.

A10.4 La dicotomia di Oosterhoff.

A10.5 Coefficienti di Fourier. Ampiezza pulsazionali.

A10.6 Classificazione delle variabili.

Capitolo 11. La Nucleosintesi

11.1 L'evoluzione nucleare.

11.2 Processi di neutronizzazione lenta (S).

11.3 I processi rapidi "r" e "p".

11.4 Fenomeni esplosivi: Variabili cataclismiche, Novae e Supernovae.

11.5 Modelli di evoluzione galattica.

11.6 Conclusione.

Approfondimenti:

A11.1 Reazioni nucleari interstiziali.

A11.2 Sistemi binari stretti.

A11.3 Le Supernovae storiche.

A11.4 Misure di Litio atmosferico.

Capitolo 12. Appendici

- 12.1 Grandezze fondamentali.
- 12.2 Funzioni di Fermi.
- 12.3 Sistemi fotometrici.
- 12.4 Diagrammi HR teorici ed osservativi.
- 12.5 Potenziali di ionizzazione.
- 12.6 I nuclei atomici