

**Zagadnienia do Wykładu z Budowa i Ewolucja Gwiazd**  
**II rok Astronomii (Studia I-go stopnia)**  
**Rok akademicki 2017/2018**

**Wykład 1.** Znaczenie teorii budowy wnętrza gwiazdowych i ewolucji dla astrofizyki. Poszukiwania odpowiedzi na pytanie: dlaczego świeci Słońce? Obserwowane własności gwiazd. Opis Eulera i Lagrange'a. Równowaga hydrostatyczna. Oszacowanie centralnych wartości ciśnienia i temperatury.

**Wykład 2.** Podstawowe skale czasowe: dynamiczna, termiczna, nuklearna. Twierdzenie o wiriale. Podstawowe równania budowy wewnętrznej gwiazd, warunki brzegowe. Gwiazdy ciągu głównego wieku zero.

**Wykład 3.** Dane mikrofizyki. Statystyka Maxwella-Boltzmana, Bosego-Einsteina, Fermiego-Diraca. Równania stanu. Rozkład Maxwella, rozkład Plancka, rozkład Fermiego-Diraca. Gaz doskonały, gaz zdegenerowany, gaz zdominowany przez ciśnienie promieniowania.

**Wykład 4.** Dane mikrofizyki. Rozkład Boltzmana, formuła jonizacyjna Sahy. Podstawowe źródła nieprzezroczystości materii gwiazdowej, tablice OPAL, OP, OPLIB.

**Wykład 5.** Dane mikrofizyki. Reakcje jądrowe we wnętrzach gwiazd. Energia wiązania. Prawdopodobieństwo zajścia reakcji, pik Gamowa, tempa reakcji jądrowych i wydajność energetyczna. Tempo zmian obfitości danego pierwiastka w wyniku reakcji jądrowych. „Palenie” wodoru: cykl p-p (I, II, III) i CNO. „Palenie” helu: reakcje  $3\alpha$ . Synteza jąder cięższych do żelaza. Synteza jąder cięższych od żelaza (procesy  $r$  i  $s$ ).

**Wykład 6.** Transport energii: promieniowanie, przewodnictwo. Przybliżenie dyfuzyjne, gradient promienisty. Transport promienisty w otoczkach gwiazdowych, przybliżenie Eddingtona, jasność Eddingtona

**Wykład 7. i 8.** Transport energii: konwekcja. Kryterium Schwarzschilda i Ledoux. Włączenie konwekcji do równań budowy wewnętrznej gwiazd: 1) wewnątrz, 2) warstwy podfotosferyczne. Teoria drogi mieszania, ciśnieniowa skala wysokości, lokalny strumień konwekcyjny, średnia prędkość unoszenia elementu, konwekcyjna skala czasowa. Obszary niestabilności konwekcyjnej w gwiazdach. Budowa wewnętrzna gwiazd ciągu głównego wieku zero.

**Wykład 9.** Modele politropowe: równanie Lane'a-Emdena, zależność masa-promień, modele o indeksach politropy:  $n = 0, 1, 1.5, 3$  i  $5$ .

**Wykład 10.** Modele homologiczne. Zależność masa-jasność dla gwiazd zdominowanych przez transport: 1) promienisty: gwiazdy masywne i średniomasywne, 2) konwekcyjny, ścieżki (granica) Hayashiego.

**Wykład 11.** Ewolucja przed ciągiem głównym: warunek niestabilności Jeansa, kontrakcja hydrostatyczna, minimalna masa gwiazdy. Ewolucja na ciągu głównym: gwiazdy górnej i dolnej części ciągu głównego. Zmiana profilu obfitości wodoru.

**Wykład 12.** Ewolucja gwiazd masywnych: granica Schönberga-Chandrasekhara, przerwa Hertzsprunga. Ewolucja gwiazd małowasywnych: błysk helowy. Ewolucja na gałęzi czerwonych olbrzymów i nadolbrzymów. Asymptotyczna gałąź czerwonych olbrzymów.

**Wykład 13 i 14** Dalsze etapy ewolucji gwiazd. Model czerwonego olbrzyma, zależność  $L(M_c)$ . Warstwowe źródła reakcji jądrowych i ich stabilność. Pulsy termiczne. Zależność  $\tau_p(M_c)$ . Ostatnie etapy ewolucji gwiazd. Białe karły: zależność masa-promień, granica Chandrasekhara. Termiczne własności i ewolucja białych karłów, ciąg chłodzenia, czas chłodzenia. Gwiazdy neutronowe, neutronizacja materii, „strząśnięcie” neutronów z jąder, granica Tolmana-Oppenheimera-Volkoffa. Równanie równowagi hydrostycznej w OTW. Czarne dziury, promień Schwarzschilda.

**Wykład 15.** Testowanie teorii budowy wnętrza gwiazdowych i ewolucji: 1) neutrino: problem neutrin słonecznych, standardowy model Słońca, 2) gromady gwiazdowe, 3) układy podwójne 4) pulsacje gwiazdowe.

#### **Literatura:**

1. **J. Christensen Dalsgaard, Lecture Notes on Stellar Structure and Evolution**  
[http://astro.phys.au.dk/jcd/evolnotes/LN\\_stellar\\_structure.pdf](http://astro.phys.au.dk/jcd/evolnotes/LN_stellar_structure.pdf)
2. **R. Kippenhahn, A. Weigert, A. Weiss, Stellar Structure and evolution**  
<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-30304-3>
3. M. Kubiak, Gwiazdy i Materia Międzygwiazdowa
4. **B. Paczyński, Budowa i Ewolucja Gwiazd**
5. D. Prialnik, An introduction to the theory of stellar structure and evolution
6. **O. R. Pols, Stars and Stellar Evolution,**  
<http://www.ucolick.org/~woosley/ay112-14/texts/pols11.pdf>

Jadwiga Daszyńska-Daszkiewicz