

# F7600 – Fyzika hvězdných atmosfér

Jiří Kubát, AsÚ AV ČR Ondřejov,  
kubat@sunstel.asu.cas.cz

požadavky ke zkoušce, PřF MU Brno,  
podzimní semestr 2024/2025

- **Základní pojmy:** specifická intenzita, číselná hustota fotonů, rozdělovací funkce záření; střední intenzita, tok, tenzor tlaku záření; zářivá energie, Edingtonův činitel; základní veličiny v planparalelní a sférické geometrii; popis záření ze vzdálené hvězdy; elektromagnetický popis záření, polarizace
- **Rovnice přenosu záření:** absorpční koeficient, emisní koeficient, rozptyl, pravá absorpce; odvození rovnice přenosu záření; planparalelní a sféricky symetrická rovnice přenosu; střední volná dráha fotonu, optická hloubka, vydatnost; okrajové podmínky rovnice přenosu záření; momenty rovnice přenosu záření; rovnice přenosu pro polarizované záření
- **Termodynamická rovnováha:** excitační rovnováha; rovnovážné rozdělení rychlostí částic; ionizační rovnováha, určení elektronové hustoty; disociační rovnováha molekul; záření v termodynamické rovnováze; Kirchhoffův zákon; lokální termodynamická rovnováha
- **Absorpce a emise v čarách:** Einsteinovy koeficienty, síla oscilátoru, účinný průřez; profil spektrálních čar, přirozené rozšíření, dopplerovské rozšíření, Voigtův profil, mikroturbulence, srážkové rozšíření, Starkovo rozšíření; struktura atomu a přechody vodíku a vodíkopodobných iontů
- **Absorpce a emise v kontinuu:** ionizace a rekombinace, Einsteinovy-Milneho vztahy pro kontinuum, makroskopický koeficient spontánní rekombinace, makroskopický koeficient ionizace; fotoionizační účinný průřez; volně-volné přechody
- **Rozptyl:** rozptyl na volných a vázaných elektronech, rozptyl ve spektrálních čarách, redistribuční funkce
- **Řešení rovnice přenosu záření:** formální řešení rovnice přenosu záření; difúzní přiblížení; Schwarzschildova rovnice; diskretizace rovnice přenosu, dlouhé a krátké charakteristiky; Feautrierova metoda, sféricky symetrická rovnice přenosu záření; řešení momentových rovnic; řešení metodou Monte Carlo

- **Přenos záření s obecnou vydatností:** vydatnost spektrální čáry; vydatnost s rozptylem; termalizační délka, přímé metody řešení (integrální metody, diferenciální metody), iterační metody řešení (metoda proměnných Eddingtonových faktorů)
- **Rovnice kinetické (statistické) rovnováhy:** porušení termodynamické rovnováhy zářením, neplatnost lokální termodynamické rovnováhy; četnosti zářivých přechodů (vázaně-vázané přechody, fotoionizační přechody), četnosti srážkových přechodů, soustava rovnic kinetické (statistické) rovnováhy (lineární závislost a doplňující rovnice), limitní a speciální případy (jednohladinový atom s kontinuem, cyklické přechody, kaskádové přechody, jemná struktura hladin v mezihvězdném prostředí)
- **Řešení NLTE problému:** dvouhladinový atom bez kontinua a s kontinuem, termalizační hloubka ve spektrálních čarách,  $\Lambda$ -iterace, urychlená  $\Lambda$ -iterace, řešení mnohohladinového atomu metodou úplné linearizace a urychlenou  $\Lambda$ -iterací; základní NLTE efekty pro čáry i kontinua v polonekonečné atmosféře;
- **Přenos záření v pohybujícím se prostředí:** rovnice přenosu v soustavě pozorovatele a ve spolupohybující se soustavě; Sobolevova aproximace; P Cyg profil

### Doporučená literatura

- Kubát, J., 2024, Základy fyziky hvězdných atmosfér, učební text v IS
- Hubeny, I., Mihalas, D., 2014, Theory of Stellar Atmospheres, Princeton University Press, do kapitoly 15
- Mihalas, D., 1978, Stellar Atmospheres, 2nd ed., W. H. Freeman & Comp., San Francisco (ruský překlad Zvezdnyje atmosfery, Mir, Moskva, 1982), bez kapitol 3, 7 a 15

### Doplňková literatura

- Rybicki, G. B., Lightman, A. P., 1979, Radiative Processes in Astrophysics, John Wiley & Sons Inc., New York
- Pradhan, A. K., Nahar, S. N., 2011, Atomic Astrophysics and Spectroscopy, Cambridge University Press, Cambridge