

Obsah

Proč studovat hvězdy?	9
1 Úvod	11
1.1 Energetické úvahy	11
1.2 Zjednodušení použitá při konstrukci sférických modelů	13
1.3 Model našeho Slunce	15
2 Záření a spektrum	21
2.1 Elektromagnetické záření	21
2.1.1 Intenzita	23
2.1.2 Tok	26
2.1.3 Hustota zářivé energie	28
2.1.4 Tlak záření	29
2.1.5 Koeficient opacity a optická tloušťka	30
2.1.6 Mechanická síla na vrstvu plynu	31
2.1.7 Emisní koeficient	32
2.1.8 Rovnice přenosu záření	32
2.1.9 Termodynamická rovnováha	33
2.1.10 Spojité záření absolutně černého tělesa	33
2.1.11 Sahova ionizační rovnice	38
2.2 Spektra hvězd	41
2.2.1 Přečody v atomech, spojitá a čárová spektra	41
2.2.2 Rozšíření spektrálních čar	45
2.2.3 Spektrální klasifikace	49
3 Stavová rovnice	55
3.1 Střední molekulová hmotnost	55
3.2 Ideální plyn	57
3.3 Tlak záření	60
3.4 Elektronová degenerace	61
3.5 Částečná ionizace v povrchových vrstvách	65

4	Základní rovnice stavby hvězd	69
4.1	Rovnice zachování hmoty	69
4.2	Pohybová rovnice a rovnice hydrostatické rovnováhy	70
4.3	Rovnice tepelné rovnováhy	71
4.3.1	Proton–protonový řetězec	71
4.3.2	CNO cyklus	75
4.3.3	Přeměna helia na uhlík a další reakce	76
4.3.4	Tepelná rovnováha a změny entropie	78
4.4	Rovnice přenosu energie	80
4.4.1	Rovnice zářivého přenosu energie	80
4.4.2	Rovnice konvektivního přenosu energie	90
5	Matematická struktura rovnic hvězdného nitra	97
5.1	Stacionární model	97
5.2	Vývojový model	98
5.3	Dynamický model	99
6	Počáteční a okrajové podmínky	101
6.1	Počáteční podmínky	102
6.2	Okrajové podmínky v centru	102
6.3	Okrajové podmínky na povrchu	103
6.3.1	Fotosféra	104
6.3.2	Podfotosférické vrstvy	105
7	Heneyyova numerická metoda integrace vnitřních částí hvězdy	107
7.1	Metoda úplné linearizace	107
7.2	Meze diskretizace	110
8	Vývoj osamocené hvězdy	113
8.1	Ilustrativní příklad: vývoj hvězdy o hmotnosti $4 M_{\odot}$	113
8.2	Odlišnosti hvězdného vývoje v závislosti na hmotnosti hvězdy	120
9	Srovnání předpovědí teorie hvězdného vývoje s pozorováním	131
9.1	Jak získávat pozorovací data?	131
9.2	Vysvětlení hlavních rysů Hertzsprungova–Russellova diagramu	134
9.3	Projevy vývoje ve hvězdokupách	136
9.4	Projevy vývoje ve dvojhvězdách	138
9.5	Změny chemického složení pozorované ve spektrech	138
9.6	Test vnitřní struktury hvězd pomocí apsidálního pohybu	142
9.6.1	Apsidální pohyb v klasické mechanice	142
9.6.2	Relativistický apsidální pohyb	143
9.6.3	Celkový apsidální pohyb	144
9.7	Projevy vývoje za dobu lidské historie	144

10 Jednoduché analytické modely a odhady	147
10.1 Polytropní děj, stavová rovnice tvaru $P(\rho)$	147
10.2 Laneova–Emdenova diferenciální rovnice	151
10.3 Polytropní modely hvězd	153
11 Hvězdný vítr a ztráta hmoty z hvězd	159
11.1 Observační fakta	159
11.2 Parkerova teorie větru u chladných hvězd	163
11.3 CAK teorie hvězdného větru řízeného zářením	166
11.4 Vliv hvězdného větru na vývoj hvězd	170
12 Vliv rotace	173
12.1 Rocheův model a mez stability	173
12.2 Modely hvězdného vývoje se započtením rotace	177
12.3 Některé výsledky vývoje rotujících hvězd	181
13 Vývoj dvojhvězd	187
13.1 Rocheův model a Lagrangeovy body	187
13.2 Výpočet hvězdného vývoje ve stadiu výměny hmoty	191
13.3 Některé výsledky modelování vývoje dvojhvězd	196
13.4 Dvojhvězdy versus pozorování, vývojový paradox	203
14 Pulsace hvězd	205
14.1 Radiální pulsace sférických hvězd	205
14.1.1 Podmínka pro vznik pulsací	205
14.1.2 Opacitní mechanismus pulsací	206
14.1.3 Hrubý odhad periody radiálních pulsací	208
14.1.4 Vztahy perioda – zářivý výkon – barva	211
14.2 Kinematika neradiálních pulsací	212
14.2.1 Sektorální pulsace rotujících hvězd	217
14.3 Hydrodynamika pro jednoduché vlnění	219
14.3.1 Akustické vlny v homogenním prostředí (p-módy)	221
14.3.2 Vnitřní gravitační vlny (g-módy)	223
14.3.3 Povrchové gravitační vlny (f-módy)	223
15 Gravitační kolaps protohvězd	227
15.1 Způsoby ochlazování oblaku	227
15.2 Vývoj před hlavní posloupností	229
15.3 Poloha Hayashiho linie	233
15.4 Minimální Jeansova hmotnost	234
15.5 Eddingtonova mez a maximální hmotnost	236

16	Explozivní stadia ve vývoji hvězd	239
16.1	Supernovy vznikající kolapsem jádra	239
16.1.1	Mechanismus neutrinové bomby	241
16.1.2	Záblesky záření gama (GRB)	243
16.1.3	Nukleosyntéza r-procesem	243
16.1.4	Dosvit a zbytky po supernovách	244
16.2	Supernovy vznikající explozí bílého trpaslíka	245
16.2.1	Laminární rychlost deflagrace	247
16.2.2	Chapmanova–Jouguetova rychlost detonace	248
16.2.3	Rayleighova–Taylorova nestabilita	251
17	Typy pozorovaných hvězd a jejich vývojová stadia	255
17.1	Horké hvězdy spektrálního typu O a Wolfovy–Rayetovy hvězdy	255
17.2	Hvězdy spektrálního typu B	257
17.2.1	Chemicky pekuliární Bp hvězdy	257
17.2.2	Pulsující β Cep hvězdy	258
17.2.3	Pomalou pulsující B hvězdy (SPB)	258
17.2.4	Hvězdy se závojem (Be stars)	260
17.2.5	Svítivé modré proměnné (LBV)	268
17.3	Hvězdy spektrálních typů A a F	269
17.3.1	Chemicky pekuliární Am hvězdy	270
17.3.2	Magnetické Ap hvězdy	271
17.3.3	Pulsující δ Scuti hvězdy	272
17.3.4	SX Phe hvězdy	273
17.3.5	γ Dor hvězdy	273
17.3.6	Lithium a berylium u F a G hvězd	274
17.4	Chladné G, K a M hvězdy	276
17.4.1	Chromosféricky aktivní hvězdy: UV Cet, BY Dra, aj.	276
17.4.2	Pulsující hvězdy: Cefeidy, Miry, R CrB a AGB hvězdy	281
17.5	Hvězdy v raných vývojových stadiích	284
17.5.1	T Tauri hvězdy	284
17.5.2	FU Ori hvězdy	285
17.6	Hvězdy v pozdních vývojových stadiích	285
17.6.1	Bílí trpaslíci a ZZ Ceti hvězdy	285
17.6.2	Novy, kataklyzmatické proměnné a polary	287
17.6.3	Supernovy	288
A	Jednotky a veličiny používané v astronomii	293
A.1	Soustavy fyzikálních jednotek	293
A.2	Astronomické jednotky času	294
A.3	Astronomické jednotky vzdálenosti	295
A.4	Hmotnosti a rozměry hvězd	296
	Rejstřík	297