
Indice

Parte I Astrofisica osservativa

1	Sistemi di riferimento astronomici	3
1.1	Introduzione	3
1.2	Il sistema di coordinate orizzontali o altazimutali	4
1.3	Il sistema equatoriale	6
1.4	Altri sistemi di coordinate	8
1.5	Perturbazioni e variazioni delle coordinate	10
1.5.1	Precessione	10
1.5.2	Nutazione	11
1.5.3	Parallasse	12
1.5.4	Aberrazione della luce	13
1.5.5	Rifrazione atmosferica	13
1.6	Misure di tempo	15
	Riferimenti bibliografici	16
2	Strumenti di osservazione	17
2.1	Introduzione	17
2.2	L'atmosfera	18
2.3	Caratteristiche dei telescopi	22
2.4	Telescopi ottici	23
2.4.1	Caratteristiche dei sistemi ottici	23
2.4.2	Telescopi rifrattori	27
2.4.3	Telescopi riflettori	29
2.4.4	Montature dei telescopi	33
2.5	Rivelatori per osservazioni nell'ottico	34
2.5.1	Lastre fotografiche	34
2.5.2	Spettrografi	35
2.5.3	Fotocatodi e fotomoltiplicatori	36
2.5.4	Fotometri e polarimetri	37
2.5.5	Rivelatori elettronici a immagini, CCD	38

2.5.6	Ottiche attive ed adattive	40
2.5.7	Interferometri	41
2.6	Telescopi infrarossi	43
2.7	Sensibilità dei rivelatori ottici e infrarossi	44
2.8	Telescopi per fotoni di alta energia	46
2.8.1	Telescopi X	46
2.8.2	Telescopi gamma	52
2.8.3	Telescopi ultravioletti (UV)	56
2.9	Sensibilità dei telescopi a contatori di fotoni	57
2.10	Radiotelescopi	58
2.10.1	Antenne singole	60
2.10.2	Radiointerferometri	62
2.11	Telescopi submillimetrici e per microonde	66
2.11.1	Regione submillimetrica	66
2.11.2	Microonde	67
2.12	Sensibilità dei rivelatori radio e millimetrici	69
2.13	Conclusioni	71
	Riferimenti bibliografici	74
3	Elementi di fotometria e spettroscopia	75
3.1	Grandezze dei campi di radiazione	76
3.2	Elementi di fotometria	81
3.2.1	Ottico, infrarosso, ultravioletto	81
3.2.2	Radio	84
3.2.3	Raggi X e gamma	84
3.3	Emissione nel continuo	84
3.4	Indici di colore	88
3.5	Estinzione e profondità ottica	90
3.6	Eccesso di colore	91
3.7	Estinzione atmosferica	93
3.8	Trasporto radiativo	94
3.9	Elementi di spettroscopia	96
3.10	Cenni sulla teoria atomica degli spettri	98
3.10.1	Spettri atomici	102
3.10.2	Spettri molecolari	103
3.11	Misure spettrali	104
3.12	Formazione delle righe spettrali	106
3.12.1	Allargamento delle righe	109
3.12.2	Effetto Doppler	111
3.13	Spettri stellari	112
3.14	Spettri nebulari	117
3.15	Nota	118
	Riferimenti bibliografici	118

4	Parametri fondamentali	119
4.1	Le distanze in astronomia	119
4.2	Le stelle	124
4.2.1	Luminosità e temperature	124
4.2.2	Masse	125
4.2.3	Raggi	127
4.3	Le galassie	128
4.3.1	La Via Lattea	128
4.3.2	Le galassie esterne	130
4.3.3	Dimensioni	132
4.3.4	Luminosità	133
4.3.5	Masse	133
4.4	La struttura a grande scala	134
4.5	Spettro elettromagnetico universale	136
	Riferimenti bibliografici	138

Parte II Gravitazione universale

5	Gravitazione newtoniana	141
5.1	Le leggi di Keplero dei moti planetari	141
5.2	Calcolo della forza del Sole sui pianeti	143
5.3	Il problema dei due corpi	144
5.4	Equazione di Poisson per la gravitazione newtoniana	147
5.5	Effetti differenziali dei campi gravitazionali	147
5.5.1	Maree	148
5.5.2	Limite di instabilità per frammentazione (limite di Roche)	150
5.5.3	Limite di cattura	151
5.6	Il problema dei tre corpi	152
	Riferimenti bibliografici	155
6	Teoria relativistica della gravitazione	157
6.1	La Relatività Generale	157
6.2	Campi gravitazionali statici a simmetria sferica	162
6.3	Equilibrio idrostatico delle stelle relativistiche	164
6.4	Redshift gravitazionale	164
6.5	Buchi neri	165
6.6	Buchi neri di Schwarzschild	167
6.6.1	Velocità di caduta radiale	170
6.6.2	Moto geodetico radiale	170
6.6.3	Moto in condizioni generali	171
6.6.4	Moto dei fotoni	173
6.7	Buchi neri di Kerr	175
6.7.1	Estrazione di energia rotazionale da un BH di Kerr	177
6.8	Collasso gravitazionale	180
	Riferimenti bibliografici	182

Parte III Fluidi, plasmi e radiazione

7	Processi fluidodinamici	185
7.1	Equazioni di Eulero e l'equazione di Navier-Stokes	186
7.2	Applicazioni della fluidodinamica all'astrofisica	188
7.2.1	Flussi unidimensionali, getti astrofisici	188
7.2.2	Flussi in simmetria sferica, accrescimento e venti	191
7.2.3	Dischi di accrescimento	195
7.2.4	Onde d'urto sferiche, esplosioni di supernova	202
	Riferimenti bibliografici	207
8	Processi di plasma	209
8.1	Teoria MHD	211
8.1.1	Plasma a riposo, $V = 0$	213
8.1.2	Plasma in moto, $V \neq 0$, con resistività trascurabile, $\eta \rightarrow 0$..	214
8.1.3	Congelamento delle linee di flusso magnetico nei plasmi ...	214
8.1.4	Magnetoidrostatica	216
8.1.5	Campi force-free	217
8.1.6	Riconnessione magnetica	217
8.1.7	Criteri di applicabilità della trattazione fluida per i plasmi ..	219
8.2	Applicazioni della teoria MHD all'astrofisica	220
8.2.1	Attività solare	221
8.2.2	Stelle compatte magnetizzate e rotanti	224
8.2.3	Getti supersonici	227
8.2.4	Origine e amplificazione dei campi magnetici	232
	Riferimenti bibliografici	233
9	Meccanismi di irraggiamento	235
9.1	Radiazione da cariche libere accelerate	235
9.1.1	Trattazione euristica di Thomson della formula di Larmor ..	236
9.2	Bremsstrahlung	237
9.2.1	Bremsstrahlung non-relativistico e termico	239
9.2.2	Bremsstrahlung relativistico	240
9.2.3	Assorbimento da bremsstrahlung termico	240
9.3	Radiazione sincrotrone	242
9.3.1	Radiazione da elettroni singoli	242
9.3.2	Radiazione da elettroni con distribuzione di potenza in energia	244
9.3.3	Autoassorbimento sincrotrone in nuvole compatte	244
9.3.4	Rotazione Faraday	246
9.3.5	Principio di minima energia in sorgenti sincrotrone	246
9.4	Radiazione per effetto Compton inverso	247
9.4.1	Diffusione di fotoni da elettroni relativistici	247
9.4.2	Radiazione synchrotron-self-Compton (SSC)	248

9.4.3	Limite radiativo per Compton inverso	249
9.4.4	Comptonizzazione	250
9.5	Produzione di coppie	251
9.6	Doppler beaming	251
	Riferimenti bibliografici	252
10	Accelerazione di particelle sopratermiche	253
10.1	Accelerazione coerente	254
10.2	Accelerazione stocastica	255
10.2.1	Meccanismo di Fermi	255
10.2.2	Pompaggio magnetico	257
10.2.3	Accelerazione stocastica in plasmi turbolenti	257
10.3	Accelerazione diffusiva da onde d'urto	260
10.3.1	Accelerazione da onde d'urto multiple	264
	Riferimenti bibliografici	265
<hr/>		
Parte IV Fisica delle stelle		
11	Fenomenologia stellare	269
11.1	Stelle normali e il diagramma di Hertzsprung-Russell	269
11.2	Stelle variabili	273
11.2.1	Variabili pulsanti	274
11.2.2	Variabili eruttive	276
11.3	Stelle peculiari o attive	277
11.3.1	Regioni di formazione stellare	278
11.3.2	Nebulose planetarie	279
11.3.3	Supernove e resti di supernova	280
11.3.4	Pulsar	284
11.3.5	Gamma-Ray-Burst (GRB)	286
11.4	Sistemi binari stretti	288
11.4.1	Stelle del tipo Algol, β -Lyrae, W Ursae Majoris, RS Canum Venaticorum	290
11.4.2	Variabili cataclismiche, nove	290
11.4.3	Binarie X	290
11.4.4	Buchi neri in sistemi binari e microquasar	292
11.4.5	QPO (Quasi-Periodic-Oscillators)	293
11.5	Dati stellari	293
	Riferimenti bibliografici	293
12	Struttura interna delle stelle	295
12.1	Basi teoriche	296
12.2	Equazioni fondamentali	297
12.2.1	Equilibrio idrostatico	297
12.2.2	Continuità della massa	298
12.2.3	Equilibrio energetico	299

12.2.4	Trasporto di energia	299
12.2.5	Condizioni al contorno	301
12.2.6	Equazione di stato	302
12.2.7	Opacità	305
12.2.8	Sorgenti di energia	308
12.3	Modelli stellari	315
12.3.1	Modelli uniparametrici	316
12.3.2	Modelli biparametrici	317
12.3.3	Modelli numerici	323
12.4	Atmosfere stellari	326
	Riferimenti bibliografici	327
13	Evoluzione stellare	329
13.1	Teorema del viriale	329
13.2	Fasi evolutive caratteristiche	332
13.3	Fasi iniziali dell'evoluzione stellare	333
13.3.1	La contrazione delle nuvole del mezzo interstellare	333
13.3.2	Evoluzione pre-Sequenza Principale	337
13.4	Fase termonucleare della Sequenza Principale	341
13.4.1	Stelle dell'alta Main Sequence, $M \geq 1.5 M_{\odot}$	342
13.4.2	Stelle della bassa MS, $M \leq 1.5 M_{\odot}$	343
13.4.3	Proprietà generali	345
13.5	Evoluzione post-MS, $M \geq 2 M_{\odot}$	347
13.5.1	Il limite di Schönberg-Chandrasekhar	348
13.5.2	La fase di gigante rossa	350
13.5.3	Fasi finali delle stelle, $M < 8 M_{\odot}$	352
13.5.4	Fasi finali delle stelle, $M > 8 M_{\odot}$	354
13.6	Evoluzione post-MS, $M \leq 2 M_{\odot}$	355
13.6.1	Il flash dell'elio nel nucleo	357
13.6.2	Nebulose planetarie e nane bianche	357
13.7	Le fasi terminali dell'evoluzione stellare	359
13.7.1	Collasso finale delle stelle di grande massa	360
13.7.2	Supernove di Tipo II	362
13.7.3	Gamma-Ray-Burst (GRB)	365
	Riferimenti bibliografici	368
14	Stati finali dell'evoluzione stellare	369
14.1	Gli stati finali dell'evoluzione stellare	369
14.1.1	Stelle degeneri	370
14.1.2	Nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri	376
14.2	Sistemi binari stretti con componente compatta	379
14.2.1	Formazione di dischi di accrescimento in sistemi binari semi-staccati	380
14.2.2	Evoluzione stellare in sistemi binari con scambio di massa - Supernove di tipo I	382

14.2.3	La dinamica delle binarie X	386
14.2.4	Emissione ad alta frequenza da dischi di accrescimento	388
	Riferimenti bibliografici	391

Parte V Fisica delle galassie

15	La Via Lattea	395
15.1	Statistica stellare	396
15.1.1	Local Standard of Rest (LSR)	397
15.1.2	Funzione di luminosità delle stelle	398
15.1.3	Densità stellare	399
15.2	Popolazioni stellari e ammassi	401
15.2.1	Ammassi aperti	403
15.2.2	Ammassi globulari	405
15.2.3	Associazioni	406
15.3	Il mezzo interstellare	407
15.3.1	Polveri interstellari	408
15.3.2	Gas interstellare	410
15.3.3	Molecole interstellari	413
15.4	La rotazione differenziale della Galassia	414
15.4.1	La distribuzione del mezzo interstellare	417
15.4.2	La curva di rotazione della Galassia	418
15.5	Struttura ed evoluzione della Via Lattea	420
	Riferimenti bibliografici	422
16	Galassie esterne	423
16.1	La scoperta delle galassie	423
16.2	Classificazione delle galassie	425
16.3	Galassie ellittiche	427
16.3.1	Tipi morfologici	427
16.3.2	Caratteristiche fisiche	430
16.4	Galassie spirali e irregolari	433
16.4.1	Classi morfologiche	433
16.4.2	Caratteristiche fisiche	435
16.4.3	Dinamica delle regioni centrali dei nuclei delle spirali	438
16.5	La funzione di luminosità	439
16.6	La struttura a spirale	440
16.6.1	Origine	441
16.6.2	Teoria di Lin e Shu	442
16.7	Interazioni fra galassie	446
16.7.1	Attrito dinamico	446
16.7.2	Interazione impulsiva	448
16.7.3	Stripping mareale	448

16.8	Formazione delle galassie	449
	Riferimenti bibliografici	454
17	Galassie attive	455
17.1	Le galassie di Seyfert	456
17.2	Radiogalassie	457
17.3	Quasar	461
17.4	Modelli teorici delle galassie attive	463
17.4.1	AGN (Active Galactic Nuclei)	464
17.4.2	Dischi di accrescimento	465
17.4.3	Getti e lobi radio	470
17.4.4	Modello unificato per gli AGN	475
	Riferimenti bibliografici	477
<hr/>		
Parte VI Cosmologia		
<hr/>		
18	Dati cosmologici	481
18.1	Il paradosso di Olbers	481
18.2	La distribuzione delle galassie	482
18.2.1	Gruppi	482
18.2.2	Ammassi	483
18.2.3	Superammassi	486
18.2.4	La struttura a grande scala	487
18.3	La legge di Hubble	490
18.4	Il fondo di radiazione cosmica (CMBR)	493
18.5	Isotropia di materia e radiazione	496
18.6	L'abbondanza dell'elio e del deuterio	496
18.7	Asimmetria materia-antimateria	497
18.8	L'accelerazione dell'Universo	498
	Riferimenti bibliografici	498
19	Modelli cosmologici	499
19.1	Il principio cosmologico	499
19.2	La metrica dello spazio-tempo cosmologico	501
19.3	La metrica di Robertson-Walker	502
19.4	Le equazioni relativistiche della dinamica cosmica	509
19.5	Modelli di Universo	513
19.5.1	Modello di Einstein - De Sitter	514
19.5.2	Modello di De Sitter	516
19.5.3	Soluzioni generali	517
19.5.4	Evoluzione degli universi piatti	519
19.5.5	Modello dello stato stazionario	521
	Riferimenti bibliografici	522

20 Il Big-Bang	523
20.1 Modello standard	523
20.1.1 Nucleosintesi primordiale	529
20.1.2 Disaccoppiamento radiazione-materia	531
20.2 Le anisotropie della CMBR	533
20.3 La costante cosmologica e l'energia del vuoto	537
20.4 Modelli inflazionari	539
20.5 Conseguenze della teoria inflazionaria	543
20.6 Asimmetria tra particelle e antiparticelle	546
20.7 L'Universo in accelerazione	546
Riferimenti bibliografici	549
Costanti	551
Indice analitico	553

Stelle, galassie e universo

Fondamenti di astrofisica

Ferrari, A.

2011, XV, 561 pagg., Softcover

ISBN: 978-88-470-1832-7